

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра електронних приладів та пристроїв

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.Д. Писаренко  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Дипломна робота**

**освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»**

(назва ОКР)

з спеціальності : **6.050802-Електронні пристрої та системи**

Спеціалізація: **Електронні прилади та пристрої**

на тему: Електронна система технічного зору для розпізнавання образів

**Виконав:**

студент 4 курсу, гр. ДЕ-51

\_\_\_\_\_ Божук Андрій Миколайович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ професор, д.т.н. Денбновецький С.В. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Консультанти:**

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н. Чадюк В.О. \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет                      Е л е к т р о н і к и  
Кафедра                      Електронні прилади та пристрої  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Бакалавр  
Спеціальність: 6.050802-Електронні пристрої та системи  
Спеціалізація : Електронні прилади та пристрої

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.  
\_\_\_\_\_ Л.Д.Писаренко  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студенту

**Божуку Андрію Миколайовичу**

**1. Тема проекту «Електронна система технічного зору для розпізнавання образів»**

і керівник проекту **професор Денбновецький Станіслав Володимирович**,  
затверджені наказом по університету від « 27 » травня 2019 р., № 1405-с

**2. Строк подання студентом проекту « 10 » червня 2019 р.**

**3. Вихідні дані до проекту:** Розробити електронну систему технічного зору з наступними параметрами: висока чутливість (більше 400 мВ/лк), висока швидкодія (до 10 с для плат середніх розмірів), низька похибка (до 10%).

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:** Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури по існуючим системам технічного зору; розробка схем функціональної (структурної, електричної принципової) електронної системи технічного зору; розрахунок параметрів системи; розробка конструкторської документації; експериментальне дослідження ; перелік використаної науково-технічної літератури.

**5. Перелік графічного матеріалу:** Структурна, функціональна та електрична принципова схеми пристрою ; плакати з рисунками, графіками та формулами.

**6. Дата видачі завдання 24.10.2018**

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по системам технічного зору	24.10.2018– 01.02.2019	
2	Розробка структурної та електричної принципової схеми пристрою. Вибір елементної бази	01.02.2019– 27.02.2019	
3	Розрахунок параметрів та характеристик пристрою	27.02.2019– 20.03.2019	
5	Розробка друкованої плати	20.03.2019– 03.04.2019	
6	Розробка конструкторської документації на пристрій	03.04.2019– 24.04.2019	
7	Програмна реалізація пристрою. Розробка алгоритму роботи	24.04.2019– 22.05.2019	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслення, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді	22.05.2019– 10.06.2019	

Студент гр. ДЕ-51

\_\_\_\_\_ **А.М. Божук**

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ **С.В. Денбовецький**

[illegible]

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проекту**

**на тему: «Електронна система технічного зору для розпізнавання  
образів»**

Київ – 2019

## РЕФЕРАТ

### **Електронна система технічного зору для розпізнавання образів**

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 6.050802-Електронні пристрої та системи, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Божук Андрій Миколайович. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕ-51. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 63 с., іл. 19, табл. 2.

**Ключові слова:** технічний зір, алгоритм обробки зображення, дефектоскопія, ПЗЗ-матриця

**Короткий зміст роботи:** В дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури по сучасним електронним системам технічного зору. Показано перспективи використання таких пристроїв для різних сфер діяльності. Розроблено систему, що відповідає технічному завданню. Проведено порівняння з світовим рівнем. Наведено результати розрахунку параметрів та характеристик електронної системи технічного зору для розпізнавання образів. Результати експериментальних випробовувань відрізняються від теоретичних розрахунків на 10 %. Розроблена конструкція системи, структурна, функціональна та електрична принципова схеми електронної системи технічного зору для розпізнавання образів, яка може забезпечити наступні параметри:

- високу чутливість (більше 400 мВ/лк) ;
- високу швидкодію (5-10 с);
- низьку похибку (до 10%);
- низьку собівартість .

## АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури по сучасним електронним системам технічного зору для розпізнавання образів. Розроблено систему, що відповідає поставленому завданню. Зроблено порівняння зі світовим рівнем. Приведено результати розрахунку параметрів та характеристик електронної системи технічного зору для розпізнавання образів. Результати експериментальних випробовувань відрізняються від теоретичних розрахунків на 10 %. Розроблена конструкція системи, структурна, функціональна та електрична принципова схеми електронної системи технічного зору для розпізнавання образів, яка може забезпечити наступні параметри:

- високу чутливість (більше 400 мВ/лк) ;
- високу швидкодію (5-10 с);
- низьку похибку (до 10%);
- низьку собівартість.

## **S U M M A R Y**

In a diploma project the review of scientific and technical literature about modern systems of technical view for recognition of objects is presented . Results of calculation of parameters and descriptions of the electronic system of technical view are described. The difference between the results of experimental tests and theoretical calculations is 10%. The construction of device, structural, functional and electric schemes of the electronic system of technical view for recognition of objects, has been developed, that can provide the following parameters:

- high sensitivity (more than 400 mV/luk) ;
- high performance (5-10 s);
- low error (less than 10%);
- low cost.



# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	11
ВСТУП.....	12
1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	13
1.1. Загальна класифікація СТЗ.....	13
1.2. Блок-схема СТЗ та приклади використання .....	19
1.3. Електронні СТЗ у виробництві плат .....	26
Висновки до розділу 1 .....	28
2. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОННОЇ СТЗ .....	29
2.1. Структурна схема .....	29
2.2. Параметри .....	32
2.3. Розробка апаратного забезпечення.....	37
2.4. Розробка програмного забезпечення.....	45
Висновки до розділу 2 .....	51
3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СТЗ .....	52
3.1. Розробка складального креслення камери на ПЗЗ-матриці .....	52
3.2. Розробка друкованої плати камери на ПЗЗ-матриці.....	57
Висновки до розділу 3 .....	58
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	59
4.1 Вибір системи для дослідження алгоритму роботи СТЗ .....	59
4.2 Аналіз результатів експерименту .....	61
Висновки до розділу 4.....	62

					БР.6.050802.051.003 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Божук А. М.			Електронна технічного зору система для розпізнавання образів	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Денбовецький С.В.					9	63
Реценз.						«КПІ ім. Ігоря Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		
Н. Контр.		Чадюк В.О.						
Затверд.		Писаренко Л.Д.						

ВИСНОВКИ ..... 63

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ..... 64

Додаток А. Специфікація

Додаток Б. Лістинг програми

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

СТЗ – система технічного зору

ПЗЗ – пристрій із зарядовим зв'язком

КМОН-структура – комплементарна метал-оксид-напівпровідник структура

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

В сучасній промисловості використання засобів технічного зору знайшло дуже широке використання. Використання систем технічного зору(далі СТЗ) пришвидшило розвиток медицини, автомобілебудування, конструювання складних частин приладів та пристроїв з великою кількістю дрібних деталей, які важко розпізнати.

В електроніці СТЗ особливо часто використовують при виготовленні електронних плат з великою кількістю елементів. Часто такі елементи досягають мікро розмірів. В ході розміщення компонентів внаслідок механічних, теплових чи хімічних пошкоджень можуть виникати дефекти, які суттєво зменшують продуктивність приладу, його потужність, час експлуатації, збільшують споживання енергії та затрати на обслуговування такого приладу чи пристрою.

Метою даної роботи є створення електронної системи СТЗ, яка б із заданою точністю та швидкістю розпізнавала дефекти при виробництві електронних плат. Система повинна відповідати наступним параметрам: висока швидкодія 5 – 10 с в залежності від розмірів плати та числа компонентів ; похибка до 10%; низька залежність продуктивності від зовнішніх умов (освітлення, вологість та ін.); низька собівартість; висока чутливість та роздільна здатність.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1. Загальна класифікація СТЗ

Системи технічного зору набули широкої популярності в останні десятиліття. Це пояснюється активним розвитком виробництва, новітніми підходами до побудови сучасних заводів, бажанням отримувати надвисоку якість кінцевого продукту тощо. Створюється багато роботів, оснащених СТЗ, використання яких значно пришвидшує роботу підприємства. Це дозволяє виготовляти в рази більше продукції за один і той самий період часу.

Крім промисловості, велике значення СТЗ набули в медицині. Такі системи дозволяють проводити діагностику різних захворювань уже на ранній стадії. Майже всі сучасні складні медичні установки оснащені СТЗ.

Наприклад, на початку 1970-х рр. була винайдена рентгенівська обчислювальна томографія, що стало найважливішою подією в галузі застосування обробки зображень для медичної діагностики [1]. У комп'ютерному томографі набір детекторів випромінювання та рентгенівське джерело розташовуються на кільці, всередині якого розташовується досліджуваний об'єкт (тобто пацієнт), кільце обертається навколо об'єкту. Рентгенівське випромінювання, проходячи крізь об'єкт, реєструється детекторами, розташованими на протилежній стороні кільця. Алгоритми обробки зображень, що застосовуються у томографії на основі даних детекторів будують зображення «перетину» об'єкту в площині кільця. При русі об'єкту вздовж осі кільця створюється набір таких перетинів, які в сукупності утворюють тривимірне представлення внутрішньої будови об'єкту. [1]

Варто зазначити, що комп'ютерний зір варто розглядати як доповнення (але не протилежність) біологічному зору. Біологія вивчає процеси зорового сприйняття тварин та людини, внаслідок чого розробляються моделі роботи таких систем в термінах фізіологічних процесів. В свою чергу комп'ютерний зір, вивчає і описує системи, реалізовані програмно чи апаратно. Міждисциплінарний обмін між обома галузями науки виявився для них доволі продуктивним.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Великої популярності набуває застосування СТЗ в авіації. Майже всі літальні апарати оснащені великою кількістю різноманітних камер, що збирають незліченну кількість інформації про різні об'єкти на землі. Особливо помітна сфера використання таких систем у воєнній техніці. Для знаходження бази супротивника або якихось інших стратегічних об'єктів багато підрозділів застосовують дронів, які завдяки своїй компактності можуть здійснювати спеціальні завдання, літати на великі відстані і залишатися при цьому непомітними для ворожих військ.

Загалом, підсумовуючи сфери використання СТЗ можна визначити, що основними функціональними задачами технічного зору є [2]:

- спостереження за наземними рухомими, або нерухомими об'єктами;
- контролю та дефектоскопії(відбраковування) деталей та виробів за їхнім зовнішнім виглядом;
- завантаження станків деталями з бункерів чи конвеєрів;
- орієнтованого вкладання та сортування деталей та заготовок;
- використання в медицині для визначення різних захворювань на ранніх стадіях;
- упакування виробів, їхнє фарбування та зварювання;
- монтажу електронних схем;
- зчитування та розшифрування міток;
- виявлення перепон, що заважають руху робота;
- вимірювання фізичних та геометричних параметрів об'єктів;
- визначення місця розташування та орієнтації об'єктів в робочій зоні робота;
- візуальний контроль правильності виконання операцій роботом тощо.

Використання адаптивних роботів з СТЗ та елементами штучного інтелекту постійно зростає в таких галузях, як космічні дослідження, гірничовидобувна промисловість, будівництво, при гасінні пожеж та інших стихійних лихах.

По функціональному призначенню задачі СТЗ можна розподілити за рівнем їх відносної складності [2]. Для цього потрібно розглянути низку ознак.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*Розмірність сцени, що розглядається.* Задачі , що потребують аналізу тривимірних сцен набагато складніші від плоских сцен , в яких достатньо обробки однієї двовимірної проекції сцени на картинну площину. Між цими двома станами, проміжне положення займають так звані «квазіплоскі» задачі, де потрібно розглянути площину з додаванням інформації щодо віддалення видимих об'єктів.

*За ступенем ізолюваності об'єктів* можна виокремити задачі, що стосуються одного об'єкту, декількох об'єктів що не дотикаються між собою, декількох об'єктів що дотикаються між собою, а також щодо об'єктів, які перекривають один одного.

*За ідентичністю образів(об'єктів).* Коли всі образи ідентичні, то такої проблеми не виникає. Але при наявності ряду неоднакових об'єктів задача їх класифікації тим складніша, чим більш схожі одне на одного їх зображення, тобто чим більше ознак класифікації необхідно для однозначного опису відмінностей кожного образу від всіх інших.

*За стаціонарністю робочої сцени.* Легше обробляти зображення нерухомих об'єктів ніж рухомих.

*За числом елементів зображення.* При збільшенні розмірів поля зору та забезпеченні вищої роздільної здатності СТЗ задача ускладнюється.

*За числом градацій яскравості.* Обробка бінарних зображень простіша за обробку напівтонових зображень.

*Склад відеосигналу(спектральний).* Сприйняття монохроматичного зображення складніше ніж кольорового.

Для того щоб виконати функціональне призначення системи технічного зору повинні забезпечувати:

1. Сприйняття оптичного сигналу, перетворення його в аналоговий , а потім в цифровий та формування зображення
2. Попередню обробку зображення( корекцію спотворень, фільтрацію завад )
3. Розділення (сегментацію) зображення на складові частини для виділення потрібних об'єктів

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Аналіз зображення з розпізнаванням образів;
5. Надсилання отриманих результатів в систему керування для подальших дій згідно вибору оператора.

Для того щоб створити СТЗ потрібно пройти наступні етапи:

1. Постановка задачі на змістовному рівні та розробка технічного завдання для СТЗ
2. Вибір функціональної та структурної схеми СТЗ;
3. Формулювання задач (математичне) функціональних частин СТЗ;
4. Створення алгоритмів розв'язування функціональних задач, визначених в технічному завданні;
5. Вибір засобів реалізації алгоритмів та конкретизації технічних характеристик апаратних та програмних блоків СТЗ;
6. Вибір та удосконалення програмного та апаратного забезпечення.

Оцінювання можливостей вирішення задач пов'язаних зі сприйняттям зображень повинно здійснюватися не лише на основі аналізу системних характеристик відеоприймачів, але й власних характеристиках фотоприймачів, оскільки саме останні відповідають за гранично досяжні результати.

Основними *системними* характеристиками СТЗ є частотно-контрастна характеристика, область віддалення можливої ідентифікації об'єкта, роздільна здатність, швидкість прийому інформації, спектральний розподіл освітленості фотоприймача.

Основними *власними* характеристиками фотоприймача є: пошукова здатність, динамічний діапазон, кількість інформації, робоча полоса частот, інерційність [2].

Якість відеосистеми в цілому полягає у визначенні її можливостей розділяти зображення штрихових мір з різними просторовими частотами. Згідно до критеріїв Джонсона існують чотири рівні бачення :

- виявлення - спостерігач фіксує появу об'єкта в полі зору;
- визначення – спостерігач розрізняє форму об'єкту і визначає його орієнтацію;

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- розрізнення – спостерігач може класифікувати об’єкт;
- розпізнавання – спостерігач в межах своїх знань визначає тип об’єкту.

Системи технічного зору в теперішній час являються невід’ємною частиною багатьох промислових процесів, тому що вони здатні пропонувати швидкі, майже ідеально відтворені можливості контролю [3].

Існують також специфічні сфери застосування СТЗ. Коротко виділимо дві – СТЗ для *підводного спостереження*, а також СТЗ для *спостереження в космосі*.

Аналіз поверхонь дна водних об’єктів один з найбільш технологічно складних та затратних. Для сканування місць знаходження уламків кораблів чи , наприклад, знаходження нових представників фауни використовуються над потужні передавальні камери, що повинні відповідати наступним вимогам:

- мати високу дальність спостереження;
- бути високочутливими, так як на дні океанів та морів майже не доходить сонячне світло;
- бути якомога компактнішими у габаритах, для зручного користування оператором( в іншому випадку повинні кріпитися на роботизованих механізмах, які можна контролювати з поверхні);
- володіти оптимальним методом обробки та передачі відеозображення на поверхню. Велика щільність води та інші умови в більшості випадків не дозволяють передавати інформацію через Bluetooth зв’язок, тому потрібно забезпечити кабель оптимальної довжини для передачі інформації на поверхню, або на підводну лотку.
- витримувати значний тиск води, не виходити з ладу протягом довгого періоду.

Всі вищеперераховані вимоги роблять системи підводного спостереження надзвичайно дорогими. Проте є багато сфер в яких без них не обійтись.

Наприклад, одним з найбільших завдань таких систем є зондування поверхонь океанів для прокладання трансокеанських ліній передачі , трубопроводів, тощо.

В минулому столітті було прокладено десятки тисяч газо- та нафтопроводів,

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лінії передачі Інтернет та багато інших складних передавальних конструкцій. Все це вимагало ретельного дослідження дна океанів на предмет знаходження уламків кораблів, коралових рифів тощо, які могли суттєво ускладнити процес прокладання таких магістралей. Тож було витрачено багато коштів на відеотехнічне оснащення для прокладання оптимальних маршрутів з обходженням вищенаведених перешкод. В наш час подібні лінії передачі продовжують активно прокладуватись по дні океанів, сполучаючи все новіші локації. Це потребує активного використання СТЗ [3].

Іншою складною сферою застосування СТЗ є використання їх в космосі. Сучасні передові технології дозволяють активно досліджувати все новіші космічні об'єкти, планети, зорі і так далі. Все це не обходиться без застосування СТЗ. Наприклад, одним з найактуальніших завдань є знаходження води на поверхні різних планет. Для цього використовують спеціальних роботів, оснащених відеокамерами для передачі зображення безпосередньо на космічну станцію. Також такі системи використовуються при ремонті космічних станцій, що дозволяє набагато зменшити час проведення таких операцій, а це життєвоважливо в умовах космічного простору.

За рахунок використання таких систем можна отримувати зображення планет високої якості. Існує багато онлайн-ресурсів на яких кожен охочий може в прямому ефірі спостерігати за різними явищами, які відбуваються в космосі.

СТЗ, що працюють в космосі повинні дуже точно узгоджуватись з лініями передачі, які передають інформацію на землю. Також ці системи мусять мати довготривалий термін експлуатації, адже проводити в ремонт у відкритому космосі технологічно складно.

Підсумовуючи вищенаведене можна відмітити, що використання СТЗ буде і надалі активно впроваджуватися в усіх галузях промисловості, науки, медицини тощо. Використання цих систем дозволяє значно пришвидшити різноманітні процеси, а також вирішити низку задач, які людство не могло розв'язати до появи сучасних систем технічного зору. В даній роботі розроблятиметься електронна СТЗ, яка значно пришвидшує знаходження дефектів на електронних платах.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2. Блок-схема СТЗ та приклади використання

Системи технічного зору якісно можна розділити на статичні та динамічні. Під статичною системою розуміють таку, кожен елемент якої жорстко закріплений на конструктивно визначеному для нього місці. Єдиною частиною системи що рухається є об'єкти камери – наріжної частини системи, за рахунок чого оператор може зробити зображення на різній відстані. Динамічні СТЗ зазвичай закріплюються на бортах літальних апаратів. При цьому всі частини системи пересуваються в просторі. Іноді єдиним елементом, що рухається є камера, яка передає відеосигнал на інші частини системи по Wi-Fi протоколу.

Класичним застосуванням статичної СТЗ являється використання її на конвеєрі [7]. На рис.1 наведено загальну структурну схему статичної СТЗ.

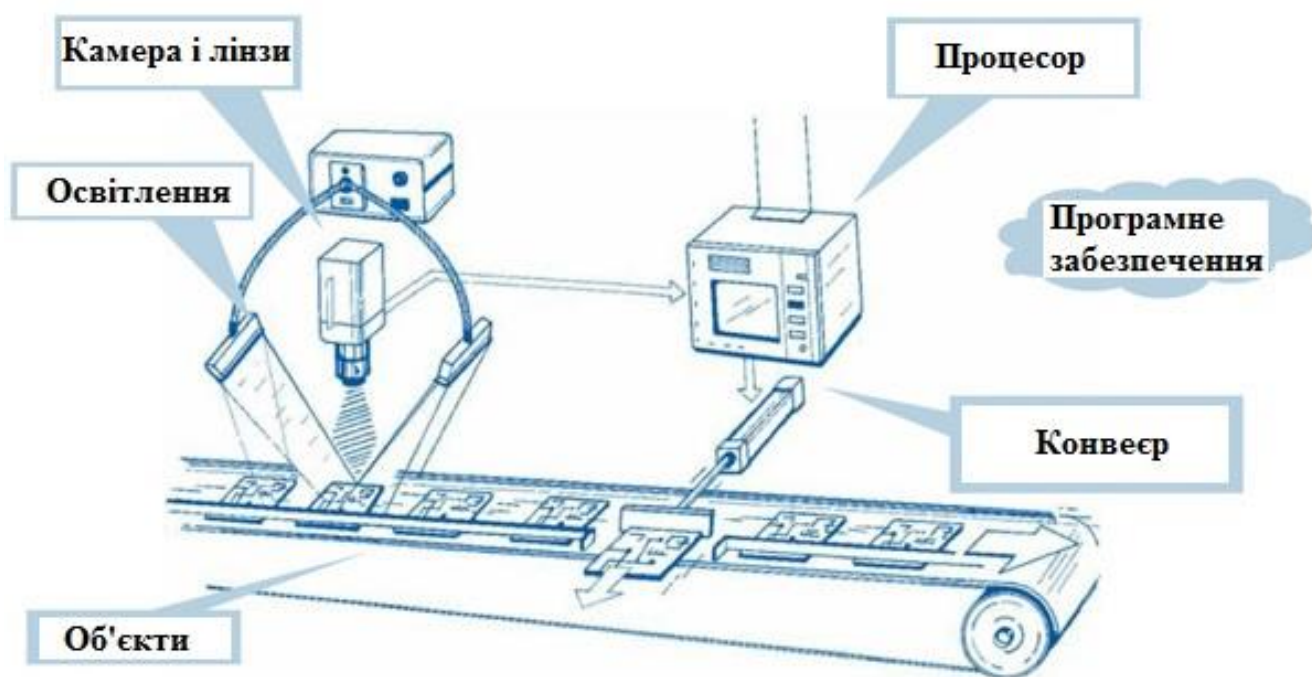


Рис. 1.1. Загальна структурна схема статичної СТЗ

Дана система складається з 6 основних блоків:

- Камери і лінз. Ці частини відповідають за прийняття зображення, його попередню обробку, оцифрування отриманої інформації та передачу її на центральний процесор. Основними вимогами до камери є висока роздільна здатність – здатність розрізняти дрібні частини зображення та висока чутливість – здатність розпізнавати об'єкти при мінімальному

освітленні. Додатково встановлюються лінзи, для забезпечення отримання чіткішого зображення.

- Освітлення. Додаткове освітлення необхідне при виробництві в затемнених приміщеннях, де кількість природнього світла не дозволяє отримувати максимальну користь від застосування СТЗ.
- Конвеєр. Рухлива стрічка дозволяє виготовляти великі обсяги однотипної продукції. Можливість змінювати швидкість руху конвеєра та частоту розміщення продукції допомагає налаштовувати параметри СТЗ, такі як частоту зйомки камерою, для оптимальної роботи й отримання найкращих результатів.
- Об'єкти. Об'єктами, на які спрямована робота СТЗ, можуть бути найрізноманітніші предмети – засоби побутової хімії, продукти харчування, частини складних конструкцій для техніки, ліки, частини одягу, електронні прилади та пристрої (або їх компоненти) і т.д.
- Процесор. Один з основних елементів СТЗ (на ряду з камерою). Служить для обробки отриманого зображення, аналізу вхідних даних та подальшого визначення необхідних дій для кожного окремого об'єкту. Може самостійно приймати рішення на основі шаблонних моделей або лише передавати інформацію оператору, який дасть подальші вказівки. Можлива також гібридна система, в якій процесор приймає шаблонні рішення, і разом з тим передає оператору інформацію про гібридні об'єкти виявлені на конвеєрі. Основним параметром процесора є його частота.
- Програмне забезпечення. Один з основних елементів у роботі електронної системи технічного зору. Програмне забезпечення дозволяє опрацьовувати інформацію, яка надходить у вигляді двійкового коду після попереднього аналогово-цифрового перетворення. Створення програми полягає у розробці алгоритму обробки вхідного сигналу у відповідності до заданої задачі. Програмне забезпечення суттєво відрізняється від апаратного спроможністю швидкої перебудови алгоритму його функціонування майже до повної зміни операцій, що виконуються.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Воно зазвичай виконується за допомогою математичного забезпечення універсальних обчислювальних засобів або шляхом використання спеціальних вузькоспеціалізованих засобів.

В сучасних СТЗ велике застосування знаходять різноманітні комбінації апаратних і програмних засобів реалізації [2]. Формування зображень робототехнічної системи з технічним зором має такі етапи:

- настроювання системи, в тому числі підбір освітлення робочої сцени;
- аналогові перетворення вхідного відеосигналу;
- саме введення зображення в комп'ютер або в інший пристрій для подальшої обробки інформації;
- попередня обробка цифрованого зображення згідно з алгоритмами його покращення, стиснення.

Прикладом застосування СТЗ є система для реєстрації номерних знаків транспортних засобів [3] (рис.1.2). В багатьох країнах телевізійний метод зчитування номерних знаків рухомих автомобільних та залізнодорожних об'єктів набув широкої популярності. Разом з цим, наряду з чисто візуальними системами, в яких отримання інформації і прийняття рішення згідно з цією інформацією в цілому виконує оператор, застосовуються також і телевізійно-вимірювальні системи, які приймають рішення напівавтоматично, або взагалі автоматично. Ці системи оснащені вимірювальними пристроями і вирішують задачі знаходження номерного знаку, його розпізнавання, і при необхідності і класифікації. Функція оператора зводиться тільки до фіксації кінцевого результату і до спостереження за загальною обстановкою.

Телевізійна апаратура дозволяє проводити реєстрацію номерів залізничних вагонів, платформ, цистерн і локомотивів при формуванні і русі поїздів, а також автомашин, які перевищують встановлену швидкість руху або заїжджають під знак заборони. Також вирішується задача виявлення машин, які знаходяться під розшуком, контролю машин, що виїжджають з гаража тощо.

Загальна система для контролю швидкості руху дорожнього транспорту працює наступним чином.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.2. Камера для реєстрації номерних знаків автомобілів

Система побудована на двох передавальних камерах. Передавальна камера 1 розміщується на певній висоті над ділянкою дороги, що контролюється так, щоб рух транспорту відбувався поперек напрямлення строкової розгортки. Відеосигнал з цієї камери потрапляє в блок виділення об'єкту і на відеоконтрольний пристрій, призначений для загального спостереження за транспортним потоком. В БВО за допомогою двох стробіруючих елементів відбувається виділення відеосигналів зі строк, які відповідають зображенню на початку і в кінці контролюємої ділянки дороги. При перетині транспорту вказаної ділянки генеруються два імпульси, які поступають в блок контролю порушення. В цьому блоці відбувається обчислення фактичної швидкості руху за рахунок поділу довжини контролюємої ділянки на інтервал часу між обома сигналами і проводиться порівняння отриманої швидкості з максимально допустимою, яка встановлюється у вигляді цифрового коду оператором. У випадку перевищення швидкості на виході блоку контролю порушення з'являється сигнал про порушення, який надходить у формувач управляючих імпульсів. Цей пристрій формує задержані на необхідний час імпульси призначені для спуску фотозатвору, який знаходиться в передавальній

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

камері 2, запуску відеомагнітофону і дозволу записі інформативного кадру цифрового відеосигналу, який надходить із аналогово-цифрового перетворювача в буферний блок пам'яті. В цей блок також надходить додаткова інформація про місце установки апаратури, дозволу швидкість, час порушення і його порядковий номер. Вказана інформація записується протягом перших 40 строк кадру. Перетворений в аналогову форму з допомогою цифроаналогового перетворювача відеосигнал надходить на відеомагнітофон і відеоконтрольний пристрій. Поле зору камери 2 встановлюється таким чином, щоб в ньому фіксувався задній номер транспорту правопорушника.

До недоліків даної системи відноситься малий розмір ділянки, що контролюється, що диктується з одного боку необхідністю отримання великомасштабного зображення номера з метою чіткого розпізнавання, а з другого боку страхуванням від попадання в поле зору камери 2 двох або більше транспортних засобів, серед яких порушником може бути тільки один.

З розвитком технологій дані проблеми стало можливим нівелювати. Проте це призводить до суттєвого подорожчання таких систем.

Іншим прикладом використання СТЗ є технологічні роботи, призначені для зварювання, шліфування, фарбування, покращення, монтажу електронних систем тощо. Розглянемо сучасну систему зварювання «Artist»[2].

Зварювальні роботи уже давно стали звичними для точкового зварювання і разом з тим все частіше розробляються під дугове зварювання. Розмах дугового зварювання сповільнюється за рахунок ряду причин, таких як:

- нерівномірністю розмірів і крутістю зварюваних деталей;
- неоднорідністю і тепловими деформаціями в зварюваних матеріалах;
- прогинанням нелегких конструкцій;
- неідеальністю установки елементів що зварюються у кріплення(фіксатори).

Це сильно затрудняє застосування жорстковстановлених і програмованих зварювальних роботів і вимагає створення систем, спроможних підлаштовувати рухи зварювальної наконечної головки під реальну траєкторію шва (стику). Крім

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



того , потрібно забезпечити автоматичне регулювання таких параметрів як зварювальний струм , напруга дуги та швидкість з якою проводиться зварювання.

По суті, зварювальних роботів потрібно наділити датчиками відчуття, такими як тактильні, механічні, електромагнітні. При створенні СТЗ для зварювання вимагається вирішувати різні складні задачі, пов'язані з труднощами від сильного світла дуги, необхідністю забезпечити захист відеодатчика від бризок металу при зварюванні, від тепла та газосередовища, різного віддзеркалення від поверхні шва та навколо шовного простору. Тому такі СТЗ оснащені складними охолоджувальними пристроями та системами захисту.

Система «Artist» (Adaptive Real-Time Intelligent Seam Tracker)(рис.1.3) – адаптивна «інтелектуальна система» простежування шва в реальному часі [2]. Вона дозволяє зварювати матеріали без потреби розробки попередньої програми проведення головки по заданій траєкторії. Це можливе за рахунок того, що ця система може керувати рухом головки в режимі online користуючись інформацією про спотворення променя лазера на стику зварювальних деталей.

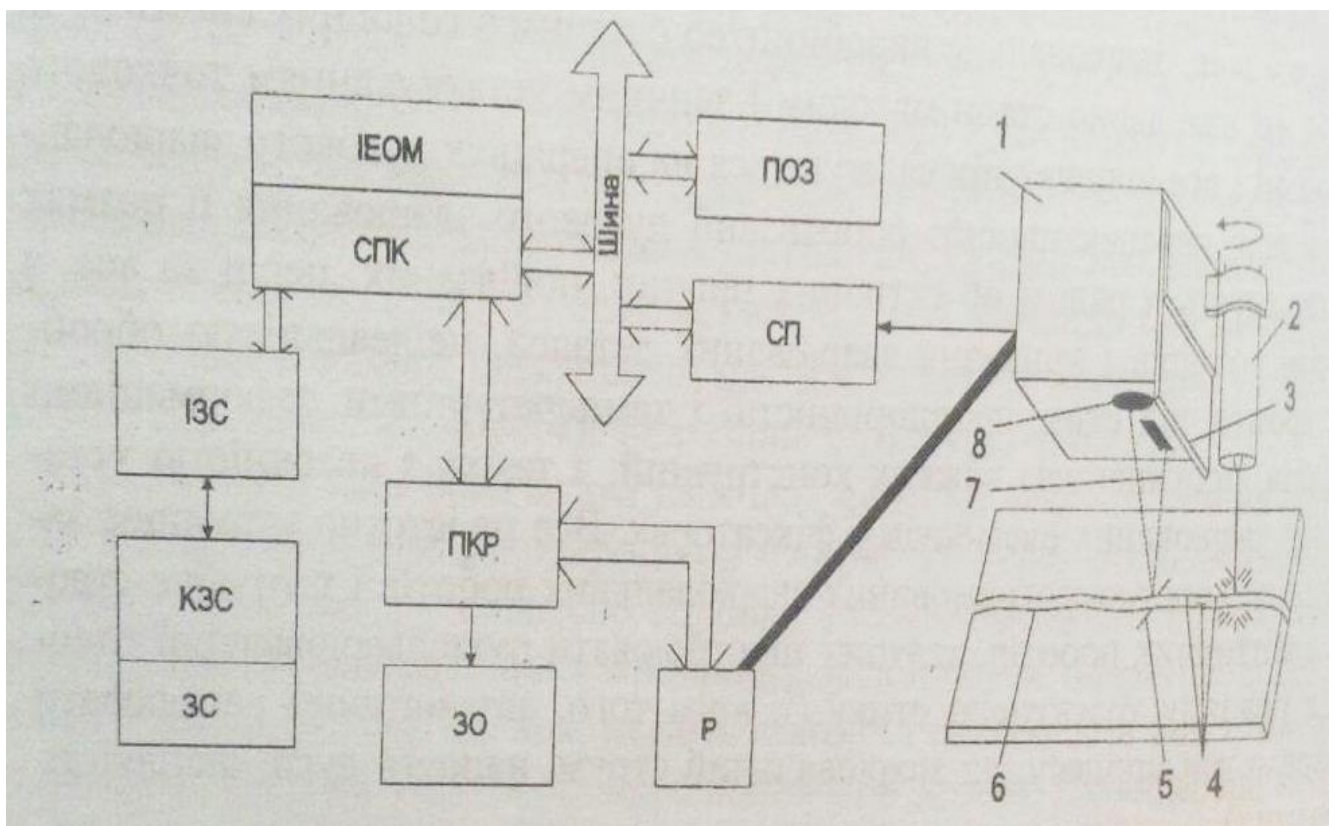


Рис.1.3. Схема системи дугового зварювання роботом «Artist»



На рис.1.3 позначено: відеодатчик(1); головка для зварювання(2); захисний щиток (3); корекційні позиції(4); сканувальна лінія (5); стик(6); промінь лазера(7); камера(8); ІЕОМ – інтерфейс електронно-обчислювальної машини; СПК-супервізорний пристрій керування; ІЗС-інтерфейс зварювального стола; КЗС – контролер зварювального стола; ЗС –зварювальний стіл; ПКР –пристрій керування роботом; ЗО – зварювальне обладнання; СП- спеціалізований процесор; ПОЗ –процесор обробки зображення; Р –робот.

Відеодатчик з пристроєм лазерного випромінювання міряє профіль стику використовуючи метод тіангуляції. Допустиме число точок, які вимірюються на скані сягає 1000. При цьому похибка становить не більше  $\pm 0,125$  мм на лінії, що має ширину 32 мм.

Система має спеціальний захисний щиток, що унеможливорює потрапляння бризок на відеодатчик від розплавленого металу, світлофільтр що захищає від диму і спеціальний препроцесор, що конвертує відеоінформацію у послідовність значень , які вказують на відхилення осі об'єктива від рівномірно віддаленої від країв лінії стику. Дані сигнали надходять на мікропроцесор «Intel-80286». Там в сукупності з поточними координатами відеодатчика вони використовуються для обчислення положення стику в просторі у системі координат робочого елемента робота.

Програма, яка використовується даним роботом, має блокову структуру і виконує такі завдання: збирання інформації про профіль стику; фільтрацію хибних відліків, що викликані віддзеркаленням променя від ділянок ванни, в якій зварюється шов з надмірним блиском; обробку відеоданих з сегментацією зображення, що уможливорює точно визначити кромки стику, середню лінію і вали робочого шва; конвертацію геометричних параметрів стику на систему координати головки, що зварює.

Завдяки системі «Artist» можна проводити зварювання швів з максимально допустимою швидкістю 25,4 мм/с.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3. Електронна СТЗ у виробництві плат

Однією з найбільших сфер, в якій використовуються СТЗ є виготовлення електронних компонентів та плат. Дані системи, зокрема, дозволяють проводити монтаж електронних схем автоматично, що уможливило активний ріст кількості окремих елементів, а отже збільшує ступінь інтеграції. Це допомогло створювати багатофункціональні плати, що здатні вирішувати цілий комплекс різноманітних завдань.

Значно збільшується швидкість виготовлення плат. Якщо в минулому для виготовлення однієї плати потрібно було 1-2 дні, то за рахунок використання СТЗ в залежності від складності і розмірів плат можливе виготовлення за декілька хвилин. При цьому зменшується їхня собівартість та збільшується коефіцієнт корисної дії промислових станків. На рис.1.4 зображено типовий процес установки елементів на плату роботом, оснащеним СТЗ.



Рис.1.4. Монтаж елементів на плату роботом, оснащеним СТЗ

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Разом з тим, в процесі установки компонентів часто внаслідок відмови системи охолодження або за рахунок механічного пошкодження часом відбувається пошкодження плат, що призводить до їхнього повного або часткового виходу з ладу та унеможлиблює подальше використання.

Для знаходження відмічених дефектів часто використовують електричні методи. Суть таких методів полягає в пропусканні через частину плати або через окремий функціональний блок електричного струму або прикладенні зовнішньої напруги і подальше спостереження реакції на виході. Проте часто така процедура може призвести до появи дефектів в тих місцях, де їх не було перед перевіркою. Крім того, вона займає багато часу і в деяких випадках взагалі не дозволяє знайти дані дефекти.

Запропоновано використання алгоритмів для СТЗ, що базуються на порівнянні зображень робочої плати з неробочою. На основі такого аналізу можна виділити область плати, яка потребує подальшого дослідження оператором для коректної роботи.

В даній роботі розроблено метод знаходження дефектів за допомогою порівняння шаблонів або зразків робочих частин плат з неробочими. Завдяки такому методу можна суттєво збільшити швидкість аналізу дефектів на неробочих платах та їх усунення.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

1. СТЗ мають найрізноманітніше використання, від упаковки та фарбування деталей до зондування поверхонь планет та зірок та спостереження за дном водойм, зокрема для прокладання трансокеанських лінії передач чи трубопроводів. Завдяки активному розвитку сучасних технологій та науки стає можливим збільшувати корисність використання СТЗ, а також розширювати сферу їхнього застосування.
2. Наведено структуру типової СТЗ, проведено опис всіх ключових елементів системи. Детально розглянуто два приклади використання СТЗ: класичну систему відеоспостереження на дорогах, особливістю якої є висока точність, та сучасну систему для роботизованого зварювання швів, для якої реалізовано поетапний контроль руху зварювальної головки.
3. Новим є запропонований метод для збільшення швидкості ідентифікації та усунення дефектів на електронних платах, який ґрунтується на лінійному пошуку по шаблону.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОННОЇ СТЗ

### 2.1. Структурна схема СТЗ

Всі сучасні електронні СТЗ в процесі роботи виконують наступні операції: зчитування інформації з об'єкту спостереження, перетворення оптичного зображення у відповідний електричний сигнал, оцифрування сигналу та подальша обробка – стиснення, квантування, дискретизація, опрацювання вхідного сигналу мікропроцесором та подальше прийняття рішень.

Таким чином структурну схему електронної СТЗ, що розробляється можна представити так як на рис.2.1.

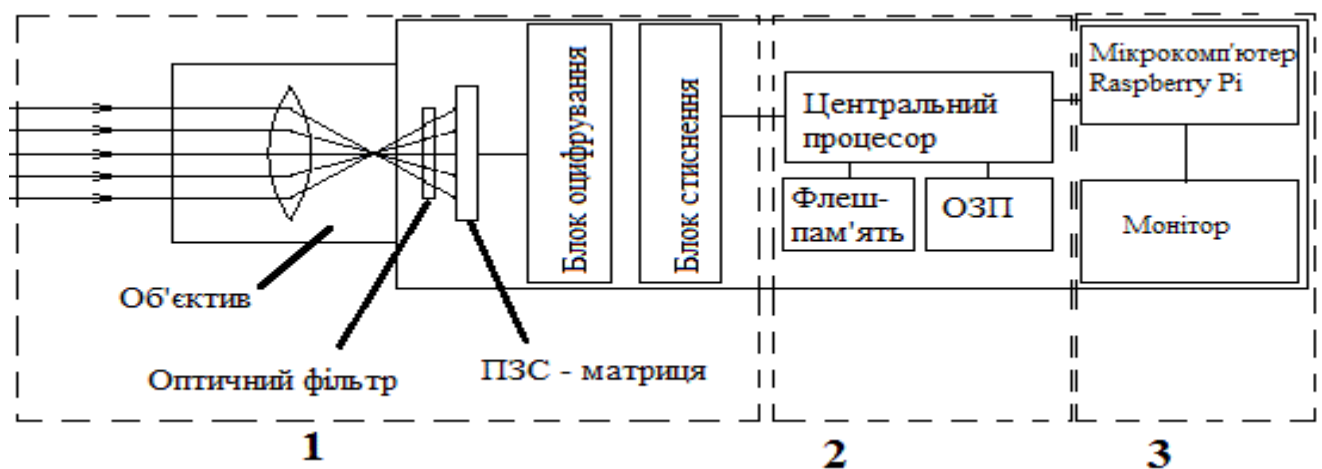


Рис.2.1. Структурна схема електронної СТЗ

Апаратно система складається з трьох блоків : блоку отримання та попереднього оброблення (оцифрування та стиснення) зображення(1); блоку запам'ятовування та аналізу (2); блоку управління (3).

Блок отримання та попереднього оброблення інформації складається з приймача випромінювання ( об'єктиву, оптичного фільтру та ПЗЗ-матриці камери) та мікросхем для оцифрування вхідного аналогового сигналу , його квантування, дискретизацію та стиснення.

Більшість сучасних камер за структурою перетворення вхідного потоку освітлення у вихідний сигнал поділяються на ПЗЗ(пристрій із зарядовим зв'язком)- та КМОН(комплементарна метал-оксид-напівпровідник)-камери. Основна різниця полягає в тому, що в ПЗЗ-камера потребує додаткових схем для

оцифрування сигналу. Це істотно збільшує площу та габарити пристрою, який побудований на ПЗЗ-матрицях. Також необхідно встановити спеціальні кодери, в яких відбувається стиснення цифрового сигналу до форматів JPEG, MPEG-1, MPEG-2 та інших.

Камери, основані на КМОН структурі були розроблені, для усунення недоліків пов'язаних з використанням ПЗЗ-камер. Сучасні КМОН-камери будуються на одному кристалі, при чому кожна рядок матриці має власний АЦП. Технологія створення КМОН приймачів випромінювання досить проста і отримала широке застосування. Проте такі камери мають свої недоліки. Тому для даної системи вибрано камеру, побудовану на ПЗЗ-матриці. Порівняння даних типів камер та обґрунтування вибраного розглядається в пункті 2.3.

Блок запам'ятовування та аналізу інформації складається з оперативної та флеш-пам'яті камери, яка керується її центральним процесором. Дані про отримане зображення або відео можуть надсилатися на блок управління миттєво, або зберігатися в пам'яті до моменту надходження сигналу з блоку управління. Існує також можливість використовуючи різні мікросхеми створити систему, в якій отриманий сигнал буде запам'ятовуватися безпосередньо на процесорі, що входить до блоку управління, а камера виконуватиме виключно функцію перетворення вхідного зображення у відповідний йому аналоговий або цифровий сигнал. Такі системи використовуються для вирішення специфічних задач.

Блок управління складається з мікрокомп'ютера або іншої обчислювальної машини, в якому відбувається процес обробки зображення або відеосигналу по розробленому алгоритму, а також монітора для аналізу оператором результатів роботи. В розроблюваній системі пропонується використання мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Це обумовлено його відносною дешевизною та достатньою потужністю для обробки середнього об'єму інформації. Для глобальніших задач, пов'язаних з обробкою великих пакетів відеосигналу доцільне використання графічних процесорів компанії NVIDIA.

Відповідно до суттєвої різниці у обчислювальній потужності, процесори NVIDIA можуть бути в десятки разів дорожчими за Raspberry Pi. Тому вибір

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежить від конкретно поставлених задач і оцінки ефективності та доцільності використання того чи іншого апаратного забезпечення.

Значною перевагою процесорів є можливість їхнього перепрограмування. Можна використовувати різні алгоритми обробки зображення або відеосигналу не змінюючи структури самої системи. Завданням інженерів є створення таких алгоритмів, які здатні якомога ефективніше використовувати обчислювальну потужність процесорів, при цьому отримуючи чіткі результати відповідно до поставлених задач. Процес зміни послідовності дій займає незначну кількість часу. Детальніше про програмне забезпечення розповідається в пункті 2.4.

Розроблювана система відрізняється своєю компактністю та мобільністю. Можливе як жорстке прикріплення її компонентів на виробничі лінії, так і перенесення окремих складових при необхідності. Канал зв'язку між блоком запам'ятовування та аналізу інформації та блоком управління можна створити різноманітними способами, наприклад, через кабель, через Bluetooth або використати онлайн-сервіси.

На великих підприємствах часто встановлюється один або декілька центральних процесорів, які можуть керувати процесами як на окремій лінії або окремому функціональному блоці заводу, так і на всьому підрозділі чи підприємстві. Через це в деяких випадках не має змісту у використанні додаткових процесорів типу Raspberry Pi, оскільки вхідна інформація може опрацьовуватися безпосередньо головними процесорами. Проте, для забезпечення виконання принципів вкладеності та автономності [12], а також структурованості процесів доцільно використовувати окремий процесор для вирішення окремих вузьких задач.

					<i>БР.6.050802.051.003 ПЗ</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2. Параметри

Приймач випромінювання (ПВ) – основний елемент СТЗ, який здійснює перетворення вхідного випромінювання в електричний сигнал.

Одними з найважливіших параметрів об'єктиву є роздільна здатність та чутливість [3] [4].

Роздільна здатність – здатність пристрою передавати дрібні деталі зображення. Вимірюється в пікселях. Роздільна здатність визначається насамперед параметрами світлочутливої матриці, яка конвертує вхідне освітлення у електричний сигнал. Оскільки розроблювана система повинна ідентифікувати дефекти невеликих розмірів із низькою похибкою, використаємо приймач випромінювання з високою роздільною здатністю 752x582 пікселі. Детальніше про апаратну частину розділі 2.3.

Чутливість  $R_d$  – це відношення електричного сигналу( наприклад напруги  $U_s$ ) до оптичного сигналу (потoku випромінювання  $\Phi_e$  (або освітленості) який падає на чутливу площадку приймача випромінювання і створює електричний сигнал:

$$R_d = \frac{U_s}{\Phi_e}, \frac{В}{Вт} . \quad (2.1)$$

Чутливість як і роздільна здатність визначається параметрами ПЗЗ-матриці. Для використовуваної в системі матриці ICX039 чутливість коливається в межах від 500 до 600 мВ/лк.

Для розрахунку СТЗ необхідними також є характеристики світло-сигнал і спектральна характеристика чутливості ПЗЗ-матриці, на основі якої побудовано камеру, використовувану в даній роботі.

Характеристика світло-сигнал може бути отримана з формули:

$$\frac{CdV_H}{dt} = i_3(t) , \quad (2.2)$$

де  $C$  – ємність світлочутливого електрода матриці,  $V_H$  – об'єм комірки накопичування заряду,  $i_3(t)$  – зарядний струм, який може залежати як від часу так

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



і від напруги на ємності накопичувача.

При рівності накопичуваного і зчитаного заряду характеристика світло-сигнал набуває вигляду:

$$U_c = \frac{e\theta S_e N_0 T_k (1-\varepsilon)^n}{C_{\text{вих}}}, \quad (2.3)$$

де  $\varepsilon$  – неефективність одного переносу,  $e$  – заряд електрона,  $\theta$  - квантовий вихід,  $S_e$ - площа електрона,  $N_0$ - кількість квантів з довжинами хвиль в проміжку спектральної чутливості ПЗЗ-матриці,  $T_k$ - час зчитування кадру,  $n$  – число переносів зарядового пакету,  $C_{\text{вих}}$  – вихідна ємність ПЗЗ.

З формули (2.3) випливає, що характеристика світло-сигнал ПЗЗ є лінійною до насичення потенціальної ями (рис.2.2).

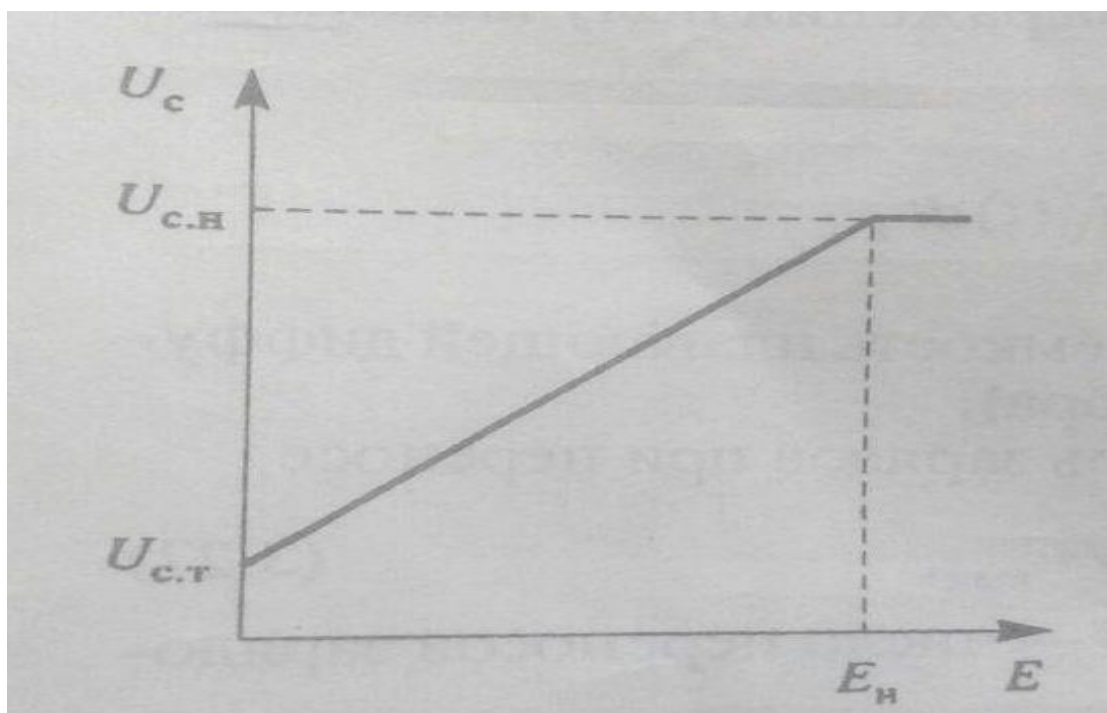


Рис.2.2. Характеристика світло-сигнал приймача випромінювання

Світлосигнальна характеристика обмежена темною складовою напруги  $U_{c.т}$  і точкою насичення  $U_{c.н}$ ,  $E_n$ .

Дана характеристика являється правомірною майже для всіх сучасних приймачів випромінювання і може бути використана як еталонна для розробки електронних СТЗ будь якого ступеня інтегрованості, складності та сфер використання.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступною необхідною характеристикою для розрахунку СТЗ є спектральна характеристика чутливості матриці ПЗЗ. На рис. 2.3. наведена дана характеристика для матриці, використовуваної в роботі, SONY ICX039.

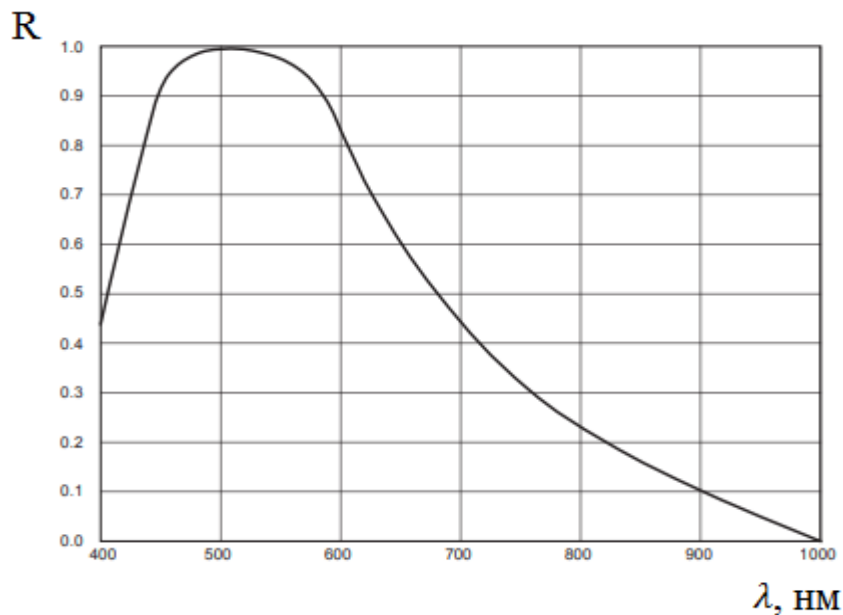


Рис.2.3. Спектральна чутливість матриці ICX039

Використовуючи дані графіки визначимо вихідний сигнал з матриці ПЗЗ ICX039, за умови, що електронну плату освітлює рівномірне денне світло (без додаткових джерел освітлення). Освітленість від компонента плати складає  $E = 0,05$  лк. Будемо вважати що вплив атмосфери , а також об'єктива на спектральний склад випромінювання, що надходить на вхід приймача випромінювання не впливає , або впливає настільки несуттєво, що ним можна знехтувати.

Мінімальна вольтова чутливість матриці ICX039 становить 500 мВ/лк.

Щоб знайти сигнал на виході матриці скористаємось формулою:

$$u_s = R_{D,v,r} E_r, \quad (2.4)$$

де  $R_{D,v,r}$  – інтегральна світлочутливість по відношенню до джерела випромінювання (реального);  $E_r$  – освітленість (інтегральна) від джерела випромінювання (реального), вимірюється в лк.

Згідно з формулою (2.4) сигнал на виході приймача випромінювання прямо пропорційно залежить як від світлової чутливості так і від інтегральної освітленості.

Для того щоб знайти світлову інтегральну чутливість  $R_{D,v,r}$  відносно реального джерела випромінювання скористаємось методом розрахунку відносно еталонного джерела.

Інтегральна енергетична чутливість відносно еталонного та реального джерела випромінювання розраховуються по формулам [4]:

$$R_{D,e,tp} = R_{Dmax} k_{D,e,tp}; \quad (2.5)$$

$$R_{D,e,r} = R_{Dmax} k_{D,e,r}, \quad (2.6)$$

де  $R_{Dmax}$  – максимальна спектральна чутливість приймача випромінювання,  $k_{D,e,tp}$ ,  $k_{D,e,r}$  – показники, які показують ступінь використання приймача випромінювання за шаблоном і реальним джерелами випромінювання.

З вищенаведених рівнянь слідує, що:

$$R_{D,e,r} = R_{D,e,tp} \frac{k_{D,e,r}}{k_{D,e,tp}}. \quad (2.7)$$

Аналогічно до енергетичної можна розрахувати інтегральну **світлову чутливість**.

Вона взаємопов'язана з енергетичною чутливістю і знаходиться за формулою:

$$R_{D,v,r} = R_{D,v,tp} \frac{k_{E,tp}}{k_{E,r}} \frac{k_{D,e,r}}{k_{D,e,tp}}, \quad (2.8)$$

де  $R_{D,v,tp}$  – світлова інтегральна чутливість,  $k_{E,tp}$  і  $k_{E,r}$  – показники використання людським оком випромінювання джерел еталонного і реального.

Необхідно знайти значення чотирьох коефіцієнтів -  $k_{D,e,tp}$ ,  $k_{D,e,r}$ ,  $k_{E,tp}$  і  $k_{E,r}$ .

Для розрахунку  $k_{D,e,tp}$  за формулою (2.5) скористаємось формулою Планка і кольоровою температурою еталонного джерела випромінювання, яка складає 2856 К.

$$k_{D,e,tp} = \frac{\int_0^\infty M_{tp}(\lambda, T=2856K) R_{Dn}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty M_{tp}(\lambda, T=2856K) d\lambda}, \quad (2.9)$$

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $M_{tp}$  – енергетична світність, табличне значення. Знаменник у вищенаведеній формулі представляє інтегральну світність абсолютно чорного тіла, і згідно із закону Больцмана дорівнює  $\sigma T^4 = 377 \text{ Вт/см}^2$ . Чисельник можна вирахувати методом числового інтегрування, враховуючи спектральну чутливість матриці ПЗЗ наведену на рис.2.2. Вона складає  $67,2 \text{ Вт/см}^2$ . Тоді енергетичний коефіцієнт використання приймачем випромінювання випромінювання еталонного джерела складає  $k_{D,e,tp} = 0,178$ .

Щоб знайти коефіцієнт  $k_{D,e,r}$  потрібно взяти уваги географічне розташування пункту зйомки випромінювання. Підставивши у формулу (2.9) табличні значення сонячної спектральної енергетичної освітленості, при умові що зйомка відбувається на висоті 0 м (рівень моря) і сонячне проміння падає ортогонально до площини зйомки, знаходимо що коефіцієнт  $k_{D,e,r}$  складає 0,43.

Формула (2.9) справедлива також для розрахунку коефіцієнтів  $k_{E,tp}$  і  $k_{E,r}$ . Єдина відмінність полягає в заміні в чисельнику чутливості матриці ПЗЗ на чутливість ока. Дана чутливість розрахована експериментальними методами. Людське око на відміну від матричного приймача здатне сприймати тільки видиме світло з довжинами хвиль від 380 нм (фіолетовий колір) до 750 нм (червоний колір). Найкраще людське око сприймає зелений колір з довжиною хвилі 550 нм.

Отримуємо  $k_{E,tp} = 0,024$  і  $k_{E,r} = 0,169$ . Підставимо значення отриманих коефіцієнтів у формулу (2.8) і отримуємо:

$$R_{D,v,r} = 500 \frac{0,024 \cdot 0,43}{0,169 \cdot 0,178} = 171,25 \text{ мВ/лк}$$

Звідси сигнал, що отримується на виході приймача випромінювання згідно з формулою (2.4):

$$u_s = 171,25 \cdot 0,05 = 8,56 \text{ мВ.}$$

Для підсилення вихідного сигналу у камерах, основаних на ПЗЗ-матрицях використовується блок підсилення (зокрема в розроблюваній системі СХА1310). Він підсилює сигнал для подальшої коректної обробки АЦП, а також у відповідності до сучасних телевізійних стандартів.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3. Вибір апаратного забезпечення

Основне завдання при виборі апаратного забезпечення для даної системи, яке задовольняло б технічне завдання – це вибір матриці приймача випромінювання. На сьогоднішній день основними двома матрицями, що використовуються в цифровій зйомці є ПЗЗ –матриці (прилад з переносом заряду, CCD – charge coupled device) і КМОП-матриці (комплементарний метал –оксид-напівпровідник). Дані технології є конкуруючими. Визначивши переваги та недоліки кожної з технологій можна вибрати оптимальну для розроблюваної електронної СТЗ.

Будь яка матриця складається із масиву світлочутливих елементів, які називають пікселями. Пікселі розташовані на напівпровідниковій пластині. Кожна з цих пластин призначена для формування одиничного елементу зображення. Це відбувається за рахунок перетворення вхідного світлового потоку в електричний заряд. Наступним кроком є обробка або зчитування цього заряду. В різних типах матриць це відбувається по різному.

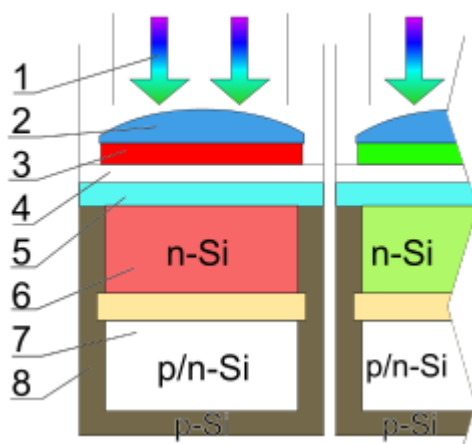


Рис.2.4. Елемент ПЗЗ-матриці: 1- фотони світла, що пройшли через об'єктив; 2- мікролінза субпікселя; 3- світлофільтр, фрагмент фільтра Баєра; 4-прозорий електрод; 5-діелектрик, оксид кремнію; 6 – зона генерації носіїв – зона внутрішнього фотоефекту; 7 –потенціальна яма; 8 – кремнієва підкладка p –типу.

Принцип дії **ПЗЗ матриці** полягає у послідовному зсуві заряду по коміркам і перетворення його в електричний струм або напругу уже поза кристалом. Кожен

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елемент ПЗС матриці є по суті конденсатором з дуже малими розмірами метал – оксид-напівпровідник. ПЗЗ структура працює за рахунок явища внутрішнього фотоефекту. Коли світловий потік освітлює ПЗЗ – матрицю то в напівпровіднику створюються пари носіїв заряду – дірка та електрон. За рахунок позитивної напруги дірки витісняються в глибину напівпровідника, а електрони накопичуються у потенціальній ямі. Електроди, які використовують в ПЗЗ матрицях є прозорими для світла у діапазоні більшому ніж діапазон видимого для людського ока світла. Це забезпечує ідеальні умови для використання ПЗЗ матриць. Коли два такі конденсатори розмістити один біля одного на незначній відстані, то їхні електричні поля почнуть впливати один на одного і потенціальні ями обох конденсаторів зв'яжуться між собою. Заряд почне перетікати у потенціальну яму з більшою глибиною. Цей процес є основним для пристроїв із зарядовим зв'язком. Крім розглянутого корисного процесу накопичення заряду в потенціальних ямах будуть також знаходитися неосновні носії, які формуються за рахунок термогенерації. Час збереження зарядів у потенціальних ямах визначається часом подачі напруги на металічний електрод.

Процес переносу зарядів можна проілюструвати на прикладі ПЗЗ трифазного типу[3], в якій кожен елемент створений трьома незалежними електродами. Всі однойменні електроди об'єднані шинами, на які подається трифазна напруга(рис.2.5,д). Три електроди в кожному елементі потрібні для того щоб створити направлений процес переносу зарядів. Нехай в початковий момент часу високий потенціал поданий на 2-гу фазу, а на 3-тю та 1-шу поданий низький потенціал ( рис.2.5,а).

Після накопичення зарядів під електродами другої фази високий потенціал знімається з неї і подається на третю фазу. При цьому під електродами третьої фази виникають потенціальні ями, в які почнуть перетікати збережені раніше заряди(рис.2.5,б,в). Під електроди першої фази заряди потрапляти не будуть, так як під ними як і раніше зберігається низький потенціал. Після цього високий потенціал подається на електроди першої фази, і заряди переміщуються так, як показано на рис.2.5,г. Отже, змінюючи рівні потенціалів на електродах можна

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крок за кроком здійснювати процес направленого переміщення зарядів в матриці.

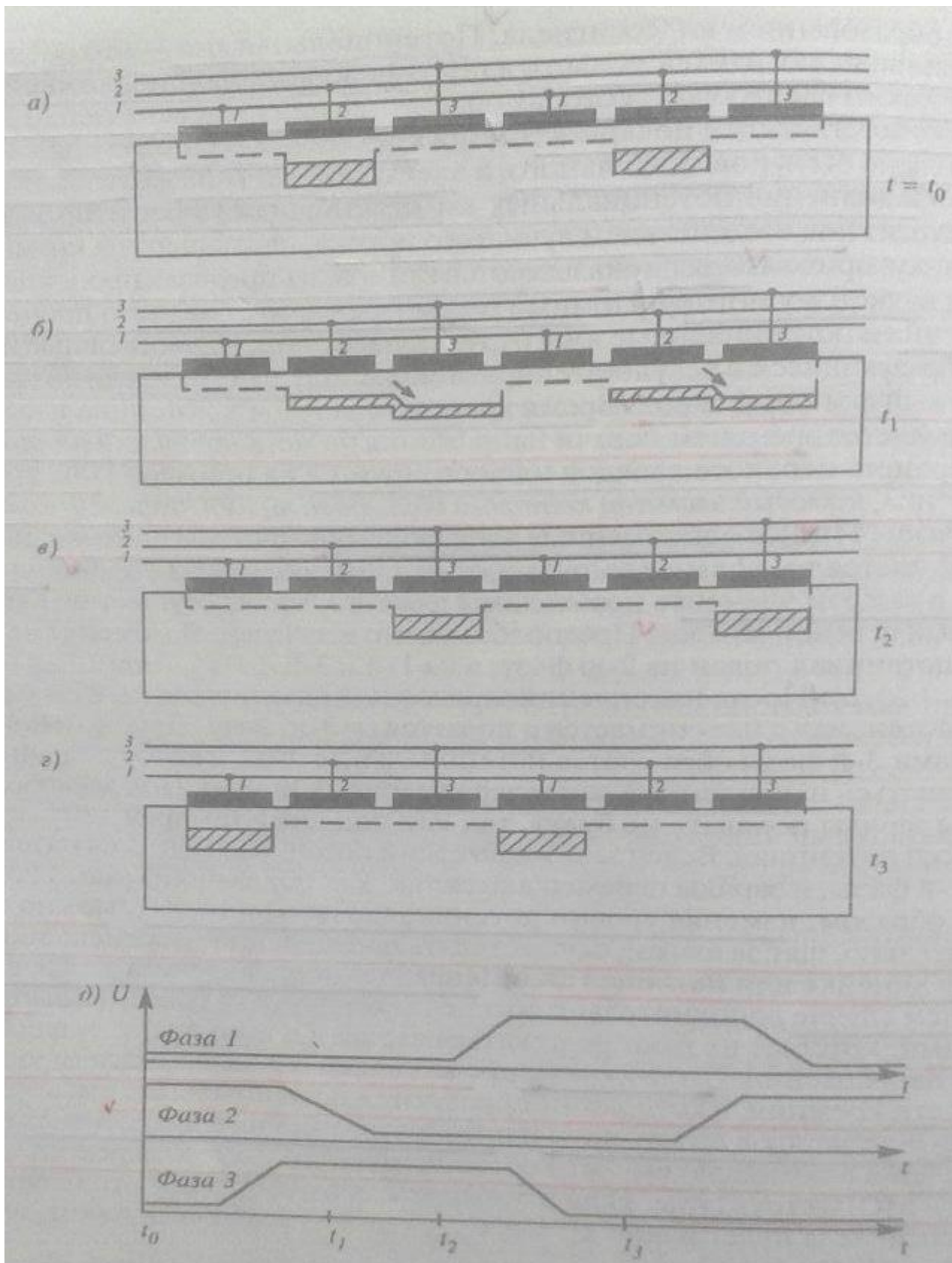


Рис.2.5. Процес накопичення і переносу заряду в ПЗЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.6.050802.051.003 ПЗ

Арк.

39

Направленість переносу зарядів додатково забезпечується за рахунок стоп-каналів, які не дають заряду розтікатися в сторони, тобто в поперечному напрямку. Стоп-канали являються собою високолеговані області кремнію, в яких потенціальні ями не утворюються.

Вивід зарядів із матриці і перетворення їх у відеосигнал здійснюється за рахунок ємності обернено зміщеного р-п- переходу або ємності МОН-структури. Якщо цю ємність позначити  $C_{\text{вих}}$ , то напруга відеосигналу буде розраховуватися за формулою:

$$U_c = \frac{q}{C_{\text{вих}}}, \quad (2.10)$$

де  $q$ - зарядовий пакет, що виходить з матриці.

Кількість МОН- конденсаторів в матриці може досягати декількох десятків тисяч і обмежується насамперед неефективністю і великим шумом. Останнім кроком в процесі роботи ПЗЗ матриці є детектування зарядів. Інформація, яка передається зарядовими пакетами повинна бути максимально ефективно зчитана, перетворена і у зручному вигляді(зручній формі) виведена з мікросхеми.

Для цього у ПЗЗ наявне спеціальний вихідний прилад, що знаходиться в кінці ланцюга метал-оксид-напівпровідник –конденсаторів. Основу даного приладу являє собою вихідний польовий транзистор, затвор якого є елементом, що бере участь у переносі зарядового пакету, і який теж є конденсатором. При попаданні наступного пакету в зону плаваючого затвору він заряджається до напруги, що залежить від величини зарядового пакету, а також від ємності затвору. Тож даний транзистор виконує функцію перетворення заряду у напругу. Для роботи матричного ПЗЗ потрібно двовимірний масив МОН-фотоприймачів. Принцип роботи матричного фотоприймача можна проілюструвати рис.2.6.

Масив фоточутливих елементів створюється за рахунок металічних шинних електродів, які пересікають весь приймач по горизонталі. Ці електроди об'єднані в три фази. За рахунок стоп-каналів одна довга потенціальна яма під фазним електродом являє собою велику кількість потенціальних ям, які обмежені з обох сторін стоп-каналами.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



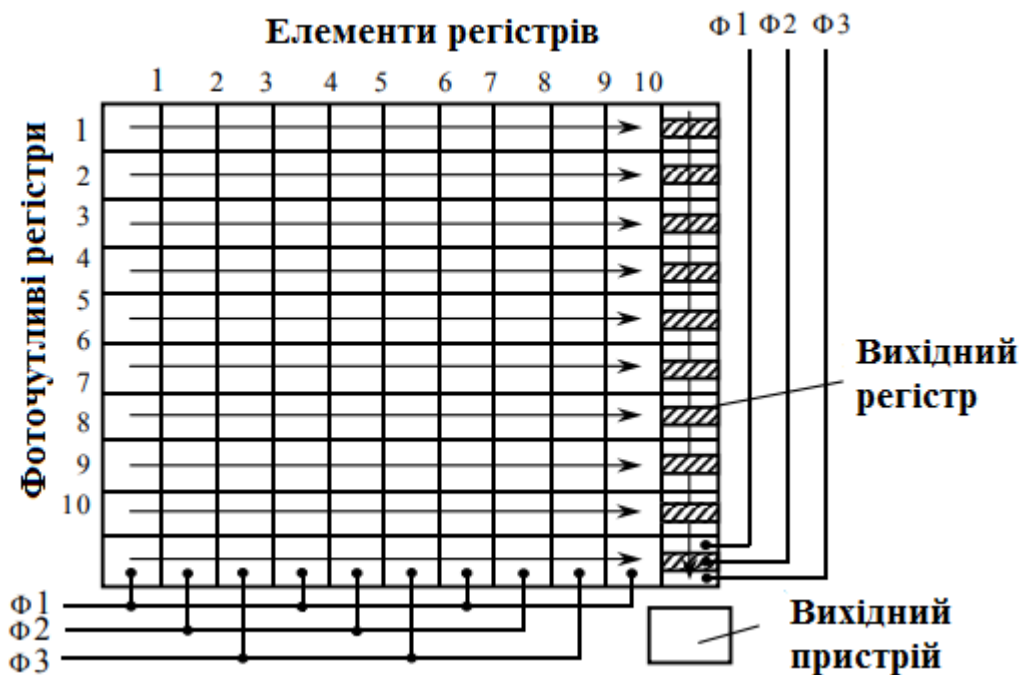


Рис.2.6. Найпростіший матричний ПЗЗ

Накопичення заряду в такій структурі відбувається наступним чином. На один із фазних електродів подається управляючий потенціал, який забезпечує формування потенціальних ям. Протягом певного часу (часу накопичення) відбувається експозиція світлового потоку, фотогенерація і формування зарядового рельєфу в елементах.

Після накопичення відбувається процес переносу – по рядку. Під час першої стадії переносу сигнал з найнижчого і найближчого рядка до вихідного регістру паралельно переноситься у вихідний регістр. Потім цей сигнал поступово переноситься у вихідний пристрій, детектується і виноситься назовні. Для забезпечення синхронізації швидкість виводу всіх зарядових пакетів вихідного регістру повинна відповідати швидкості переносу одного рядка основної фоточутливої матриці (секції накопичення).

За типом організації зчитування інформації з комірок, ПЗЗ матриці поділяють на:

- матриці з кадровим перенесенням;
- матриці з рядковим перенесенням;
- матриці з рядково - кадровим перенесенням.

Перевагами ПЗЗ матриць є висока якість зображення, за рахунок низьких шумів та щодо квантової ефективності. Дані матриці забезпечують гнучкість з точки зору витрат при проектуванні СТЗ.

Недоліком ПЗЗ матриць є те, що вони формують аналоговий сигнал, і для подальшої обробки на виході системи потрібно ставити АЦП перетворювач.

Оскільки технологічні особливості ПЗЗ не дозволяють виконати камеру і пристрої обробки зображення на одному кристалі, телевізійна камера складається мінімум з чотирьох інтегральних мікросхем, таких як матричний ПЗЗ, синхрогенератор, перетворювач рівнів та відеопроцесор. Камера виконується на одній печатній платі, габарити якої визначають габарити пристрою в цілому. Для подальшої мініатюризації і для створення нових функціональних можливостей було створено КМОН-фотоприймачі.

Основною відмінністю КМОН-фотоприймачів від ПЗЗ є використання іншого методу реалізації розгортки. ПЗЗ використовує перенос пакетів заряду по ланцюгу від місця їх формування до вихідного пристрою. А в КМОН-фотоприймачах використовується координатна адресація до кожного елементу зарядового рельєфу, отриманого в процесі фотогенерації [6]. На рис.2.7 зображена структура КМОН-фотоприймача.

Ця структура схожа на структуру мікросхеми динамічної пам'яті, яка складається з конденсаторів, що містять інформаційний заряд, адресні шини і схему управління адресацією. У мікросхемах пам'яті використовують дискретні значення ємності, які є характерними для кодування цифрової інформації. Доступ до конденсаторів відбувається за рахунок використання двокоординатної шинної структури. Величина заряду в конденсаторах аналогічно ПЗЗ-матрицям пропорційна величині вхідного потоку світла. Недоліком схеми на початку створення КМОН-технологій було те, що ємність координатних шин матриці була набагато більша за ємність самих фоточутливих комірок. Через це сигнал з конденсатора був дуже слабким і чутливість КМОН-фотоприймача була надзвичайно низькою. Цю проблему було вирішено із створенням технології активного пікселя, тобто введенні підсилювального каскаду у кожний фоточутли-

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вий елемент матриці.



Рис.2.7. Структурна схема КМОН-фотоприймача з активним пікселем та інтегрованим АЦП

Тож, перевагами КМОН-фотоприймачів є:

- Технологія виготовлення світлочутливої матриці сумісна з технологіями виготовлення більшості сучасних інтегральних пристроїв, таких як логічні елементи, процесори, підсилювачі високих та низьких частот, АЦП та ЦАП. Це зробило можливим створювати на одній мікросхемі високоінтегрований пристрій формування та аналізу зображень.
- За рахунок довільного доступу до елементів матриці можна гнучко управляти режимами роботи фотоприймача.
- Дана технологія досить проста у освоєнні. Це призвело до того, що велика кількість фірм почала виготовляти та випускати КМОН-приймачі. За деякими даними станом на 2014 рік майже 95% всіх камер оснований на використанні КМОН-фотоприймачів.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також окремо слід виділити те, що в КМОН- фотоприймачах можлива набагато більша частота запиту елементів структури. Для цього важливо встигнути вивести інформацію та оцифрувати її. Через це є дуже жорсткими вимоги до АЦП.

У таблиці 2.1 наведено порівняння основних властивостей та параметрів ПЗЗ та КМОН фотоприймачів.

Таблиця 2.1.Порівняння параметрів та властивостей ПЗЗ та КМОН приймачів

Параметр або властивість	ПЗЗ	КМОН
Вихідний сигнал пікселя	Пакет електронів	Напруга
Вихідний сигнал пристрою	Аналоговий(напруга)	Цифровий(біти)
Системний шум	Низький	Від помірного до високого
Складність датчика	Низька	Висока
Складність системи	Висока	Низька
Компоненти камери	Друкована плата, кілька мікросхем, об'єктив	Мікросхема, об'єктив
Вартість розроблення	Залежить від додатка	Залежить від додатка
Чутливість	Висока	Помірна
Динамічний діапазон	Високий	Помірний
Швидкість	Від помірної до високої	Висока
Управління	Складне	Просте
Живлення	Високі напруги	Низькі напруги

Взявши до уваги всі перелічені вище параметри та властивості зупинимось на матриці ПЗЗ. Цей вибір обумовлено більшою чутливістю камери та вищим динамічним діапазоном. Висока чутливість необхідна для розроблюваної системи через велику кількість елементів на платі, які потрібно ідентифікувати для подальшого порівняння з високою точністю. Обрано матрицю компанії SONY ICX039 форматом 750x576 активних елементів. В розділі 3 наведено структурну та електричну принципову схему камери , розробленої на основі вибраної матриці.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3. Розробка програмного забезпечення

На ряду з апаратною складовою електронної СТЗ другим основним чинником є програмне забезпечення. Завдяки використанню апаратних засобів ми можемо отримати, обробити та передати зображення або відеоряд на процесор. Процесор – другий (після камери) найважливіший компонент системи. Він у свою чергу повинен опрацювати вхідні дані згідно певного попередньо створеного алгоритму, який діє відповідно до технічного завдання системи.

Програмне забезпечення активно розробляється для СТЗ у всіх сферах, таких як медицина , промисловість тощо. Важливим нововведенням останніх років є використання нейронних мереж. Це значно ускладнює роботу СТЗ, але разом з тим пришвидшує обробку нетривіальних випадків, які раніше опрацьовувалися виключно оператором.

Розроблювана система призначена для дефектоскопії на виробництві сучасних електронних плат. Це означає, що процесор повинен мати змогу обробляти великий масив вхідних даних, а камера повинна мати високу чутливість для розпізнавання дрібних деталей на платі. Чим більша електронна плата, тим більше компонентів розміщено на ній і більша ймовірність помилки при виготовленні. Отже навантаження на процесор прямо пропорційне ступеню інтегрованості плат.

Одним з найважливіших параметрів , які розглядаються при виборі алгоритму роботи процесора являється його швидкодія. В сучасному світі час відіграє ключову роль у процесі виготовлення, виправлення помилок на платі та їх реалізації. Деяку роботу , яку раніше виконувала людина зараз виконує робот, саме через вищу швидкодію, а не тільки через людський факто, зокрема те, що людина може втомлюватися.

Враховуючи різноманітність та суттєву неоднорідність вхідного зображення друкованої плати дуже важко, а інколи і неможливо виокремити на ній всі компоненти окремо, зберегти в пам'яті їхні координати та геометричні розміри і оперувати цими значеннями. Для цього було б потрібно створювати масив символів, який би налічував число елементів відповідно до числа компонентів

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташованих на платі. Зрозуміло, що це б займало величезний обсяг пам'яті, а процес обробки зображень тривав би економічно не вигідну кількість часу.

На даний момент сучасні СТЗ, які використовуються на виробництві, внаслідок вищенаведених функціональних обмежень слабо застосовуються для дефектоскопії. Зазвичай дефектоскопію проводять класичним чином. Суть цього методу полягає в пропусканні через частину плати або через окремий функціональний блок електричного струму або прикладенні зовнішньої напруги і подальше спостереження реакції на виході. Але часто така процедура може призвести до появи дефектів в тих місцях, де їх не було перед перевіркою. До того ж, вона займає багато часу і в деяких випадках взагалі не дозволяє знайти дефекти.

Для вирішення даної проблеми розповсюдженим є застосування електронної СТЗ. Як і в деяких інших галузях виробництва основна ідея полягає у порівнянні робочого зразка виробу з неробочим. Система робить зображення дефектного приладу, порівнює його з попередньо завантаженим у пам'ять процесора зображенням еталону і вказує на відмінності.

Проте для прямої покрокової перевірки потрібно, щоб розміри зображення дефектної плати строго співпадали з розмірами зображення еталону. Але навіть якщо камера жорстко закріплена і нерухома, зробити два еквівалентні зображення по ширині і довжині майже неможливо. Якщо, наприклад, дефектна плата буде зсунута відносно положення при якому робилось зображення робочої плати на відстань більшу розміру одного пікселю об'єктива, то втратиться відповідність між інформацією прийнятою цим пікселем на двох зображеннях.

Пропонується розроблений альтернативний метод. Він ґрунтується на аналізі зображень за зразком(або шаблоном). Пошук за шаблоном (від англ. «template matching») це метод для знаходження локації зразку або шаблону у більшому зображенні. Суть цього методу полягає в пошуку поверхонь на зображенні, подібних до поверхні шаблону. Основною перевагою аналізу зображень за зразком є те, що порівняння ведеться на основі схожої конфігурації пікселів в площині зображення. Точність (поріг співпадіння) даного методу не

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

абсолютна, як у випадку прямого пошуку, а вибирається оператором і в залежності від поставленої задачі коливається в межах 70...100%.

Алгоритм роботи системи полягає в наступному:

- 1) Розділяємо зображення робочої плати на  $n$ -частин і зберігаємо їх як шаблони
- 2) Проводимо пошук кожного з шаблонів на зображенні дефектної плати
- 3) Шаблон, який знаходиться з відсотком схожості менше заданої оператором вкаже на дефектну ділянку
- 4) Для більшої точності розділяєм даний шаблон на  $m$ -підшаблонів і повертаємось до кроку 2
- 5) Робота системи зупиняється при виявленні місця дефекту з оптимальною точністю.

На рис.2.8 показано суть роботи системи. Спочатку проводиться пошук по  $n = 4$  шаблонам робочої плати. Шаблон, який знаходиться з найменшою точністю (73%) розділяється на  $m = 4$  підшаблонів і т.д. Процес зупиняється при досягненні допустимої для оператора точності (в даному випадку 27 %).

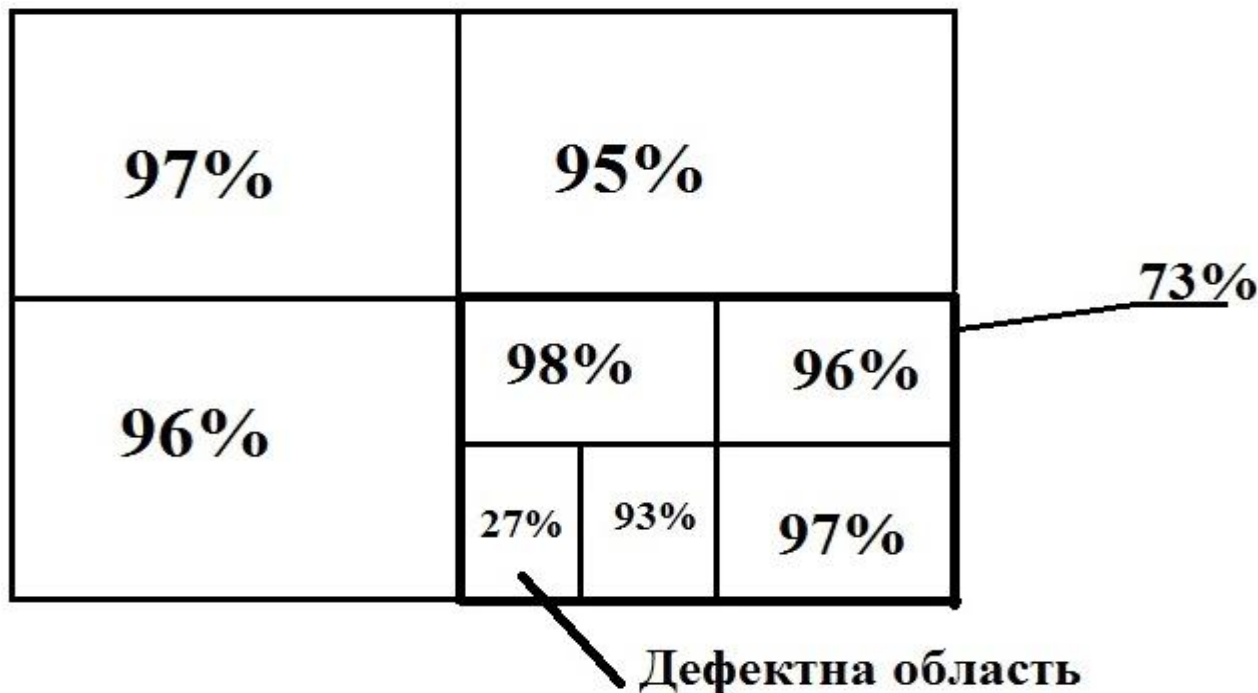


Рис.2.8. Умовне зображення алгоритму пошуку за шаблоном

Даний пошук доцільно проводити, скориставшись бібліотекою OpenCV[19] . Це програмне забезпечення, яке знаходиться у відкритому доступі. Бібліотека містить багато методів , які можуть бути використані при обробці зображень в СТЗ, використовуючи багатифункціональні мови програмування такі як C++ або Python. Для пошуку зображення за шаблоном використовується метод cv.matchTemplate. Він порівнює два зображення співставляючи їх за деякими алгоритмами. На даний момент існує декілька кореляційних методів для пошуку за шаблоном, які , в той же час, відрізняються несуттєво.

Скористаємось методом кореляції TM\_CCORR\_NORMED [7]. Математично він описується виразом:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') \times I(x+x', y+y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \times \sum_{x', y'} I(x+x', y+y')^2}}, \quad (2.11)$$

де I – зображення, яке аналізується, x, y – його координати ; T – шаблон; R – результат;  $x' = 0 \dots w-1$ ,  $y' = 0 \dots h-1$  ,де w та h – ширина та довжина шаблону відповідно.

Застосовуючи даний метод можна отримати значення співпадіння по шаблону із заданою точністю. На основі даного алгоритму проведено експериментальні операції, описані в розділі 4.

Разом з суттєвими перевагами над класичними методами дефектоскопії метод пошуку за шаблоном має деякі недоліки. Дослідження може давати велику похибку , якщо деякі елементи на платі зсунуті відносно свого початкового і правильного положення. Для вирішення даної задачі потрібно застосовувати метод пошуку по ключовим точкам. Він полягає у виокремленні ключових точок всі компонентів , і пошуку орієнтації їх в площині дефектної плати. Це звичайно , забирає дуже багато часу і вимагає високої обчислювальної потужності процесора. Але у випадках коли шаблони чітко визначені і незмінні, а також плата містить небагато елементів, пошук за шаблоном може забезпечити хороші результати з невеликими зусиллями та затратою часу.

Також варто зазначити, що даний метод працює недосконало у тих випадках, коли певний елемент на платі взагалі відсутній, особливо на платах

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



великих розмірів. Звичайно, ми можемо використати великий коефіцієнт кореляції, тобто задати точність або наближення з яким шаблон повинен знаходитися на зображенні. Проте даний метод не завжди надійний.

Для знаходження дефектів у такому випадку пропонується, як вже зазначалося, використовувати пошук по ключовим. Проте в силу того, що таких ключових точок потрібно вибирати в декілька разів більше ніж самих елементів на платі, цей метод теж не може існувати як окремий шлях вирішення проблеми.

Пошук за ключовими точками – одна з найважливіших галузей, в якій працюють науковці у сфері комп'ютерного зору. Такий пошук дуже часто використовується у сфері ідентифікації обличч людей. Багато з сучасних смартфонів мають вбудований детектор обличчя (рис.2.9), який працює саме на знаходженні ключових точок. Ці ключові точки записуються в пам'ять телефона, а саме їхня конфігурація в просторі. Потім, при наступному ввімкненні телефона, система порівнює ключові точки особи, яка намагається розблокувати телефон, з ключовими точками власника телефона. Якщо вони співпадають, то телефон розблоковується, якщо ж ні, то на екран висвітлюється попередження.

Зазвичай для розпізнавання обличч потрібно проаналізувати біля 100 ключових точок. Система порівнює відстань між очима, носом, ширину брів та рота і т.д. При цьому на роботу більшості алгоритмів не впливає пора дня – тобто величина освітлення обличчя, оскільки насамперед порівнюється геометричне положення цих точок.

Використання пошуку по ключовим точкам активно розвивається і знаходить своє місце в безлічі сферах. Завдяки цьому можна легко проходити різні системи захисту, не вводячи різні паролі. Також не потрібно носити з собою певну пластикову перепуску, яка може легко бути викрадена зловмисниками. Це суттєво зменшує час проходження перевірки, а також зменшує витрати на утримання обслуговуючого персоналу.

Разом з тим, застосування пошуку по ключовим точкам у сфері ідентифікації дефектів на платах може бути використано тільки у поєднанні з методом пошуку за шаблоном.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

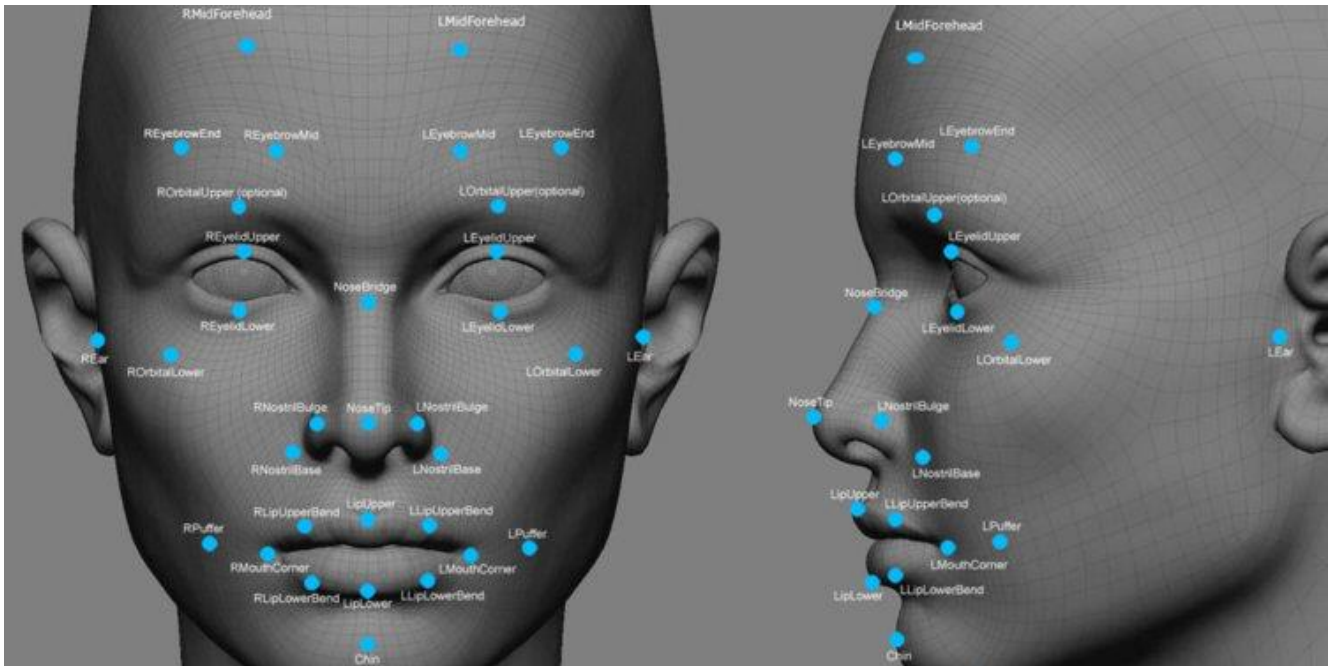


Рис.2.9.Розпізнавання обличчя методом пошуку по ключовим точкам

Пропонується наступний метод. Спочатку проводимо пошук по шаблоном по алгоритму, розглянутому вище. Цю процедуру проводимо доти, поки не знайдено прийнятну для оператора площу зображення поверхні плати, яка не співпадає із заданою точністю. Таким чином можна сильно звужити коло пошуку. Коли пошук по шаблону перестане бути ефективним переходим до пошуку по ключовим точкам. Чим далі система працюватиме по алгоритму пошуку по шаблону, тим менше потім потрібно буде ідентифікувати і запам'ятати ключових точок, тим менша буде навантаженість на процесор і тим швидше система виявить дефект.

Проблема полягає у знаходженні рівноваги у використанні двох методів. Пошук по ключовим точкам базується на використанні нейронних мереж. Це значно ускладнює його розробку на початкових етапах та займає багато часу. Проте в перспективі такий метод дає найкращі результати і може бути активно використаний для знаходження найрізноманітніших дефектів і швидкого їх усунення.

### **Висновки:**

1. Основною відмінністю розробленої електронної СТЗ є її мобільність та швидка зміна алгоритму роботи без зміни структурної схеми. Структурна схема складається з трьох основних функціональних блоків, які виконують отримання зображення та перетворення його у відповідний аналоговий сигнал, оцифрування сигналу, його стиснення та збереження, обробку цифрового сигналу згідно заданого алгоритму.
2. Новим у виборі апаратного забезпечення, необхідного для отримання високої чутливості в системі є застосування найновіших компонентів для камери, побудованої на ПЗЗ-матриці ICX039.
3. Розроблено новітнє програмне забезпечення, необхідне для коректної роботи електронної СТЗ відповідно до технічного завдання. Сформульований підхід в обробці зображення для застосування у дефектоскопії плат, який суттєво відрізняється від нині існуючих і полягає в пошуку зображень за шаблоном. Розгорнуто описано переваги та недоліки даного алгоритму та пояснено шляхи вирішення цих недоліків.

					<i>БР.6.050802.051.003 ПЗ</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЕЛЕКТРОННОЇ СТЗ

#### 3.1. Розробка складального креслення камери на ПЗЗ-матриці

Структурна схема камери, що є основою розробленої системи показана на рис.3.1.

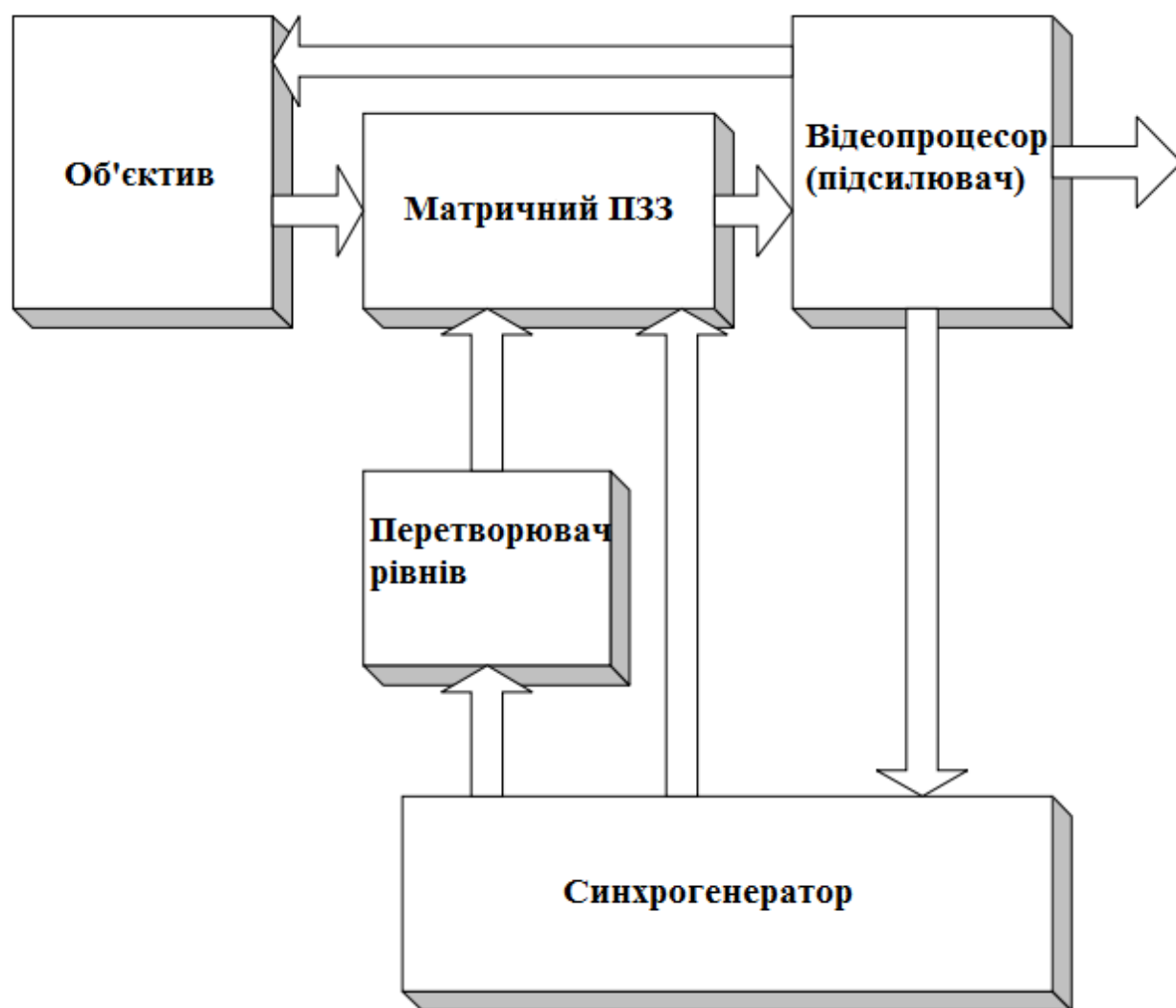


Рис.3.1. Структурна схема камери на ПЗЗ-матриці

Основою системи є матриця ПЗЗ фірми SONY ICX039. Ця камера формату 750x756 елементів. Роботою матричного приймача світла керує синхрогенератор CXD2400. Він виробляє необхідні для роботи матриці сигнали у вигляді певної послідовності імпульсів. Деяка частина сигналів з напругами 0 або 5 В подається на ПЗЗ. Але інша частина сигналів – на електроди фаз переносу –потребує інших

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівнів напруги. Для цього в схемі наявний перетворювач рівнів CXD1250.

Для підсилення вихідного аналогового сигналу встановлено спеціальний відеопроцесор CXA1310. Також він виконує функцію замішування в сигнал синхроімпульсів , а також інші функції, необхідні для отримання сигналу відповідно до технічних вимог.

Важливим завданням відеопроцесора є управління автоматичним регулюванням чутливості. Цей процес відбувається за рахунок трьох контурів управління, таких як регулювання часу накопичення заряду, регулювання коефіцієнту підсилення відеопідсилювача, а також управління діафрагмою, що знаходиться в об'єктиві.

Матриця ICX039 має рядково-кадрову організацію, а це означає , що до її складу входять окремі елементи накопичення заряду, горизонтальні та вертикальні регістри зсуву. На рис. 3.2 наведено структурну схему матричного ПЗЗ з рядково-кадровою організацією.

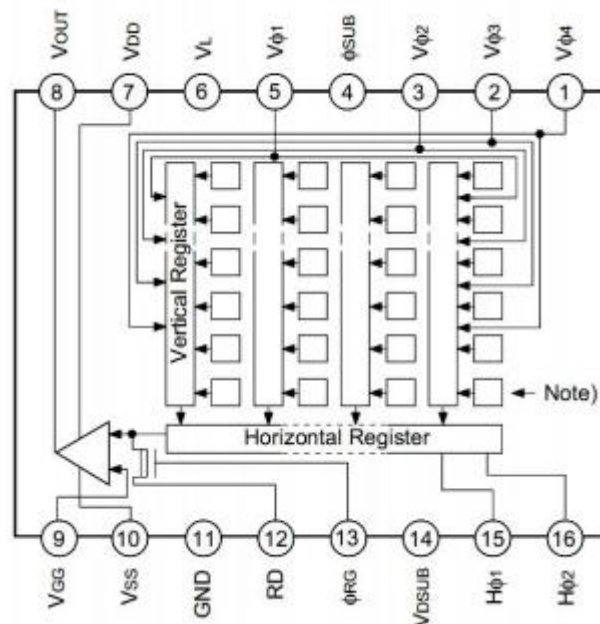


Рис.3.2. Структурна схема ПЗЗ-матриці

Порядок переносу заряду в даній матриці наступний. У вертикальних регістрах перенос зарядів з'єднаний з переносом з комірок , в яких накопичується заряд. Цим процесом управляють чотири фази, на які подаються сигнали

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

управління (на рисунку позначені цифрами 1,2,3,5). В горизонтальному регістрі заряд переноситься по двофазній системі. Використовуються сигнали позначені на рисунку цифрами 15,16. Разом з тим використовується окремий сигнал управління для вихідного пристрою RG. Цей сигнал необхідний для управління транзистором скидання.

В таблиці 3.1 наведено розшифрування позначень виводів матриці, зображеної на рис.3.2.

Таблиця 3.1. Призначення виводів ICX039

№ піну	Символ	Опис
1	$V_{\phi 4}$	Синхроімпульс передачі (вертикальний)
2	$V_{\phi 3}$	Синхроімпульс передачі(вертикальний)
3	$V_{\phi 2}$	Синхроімпульс передачі(вертикальний)
4	$\phi SUB$	Лічильник підкладки
5	GND	Земля
6	$V_{\phi 1}$	Синхроімпульс передачі(вертикальний)
7	$V_L$	Захисне транзисторне зміщення
8	GND	Земля
9	$V_{DD}$	Живлення зовнішнього кола
10	$V_{OUT}$	Вихідний сигнал
11	$V_{GG}$	Зміщення затвору зовнішнього кола
12	$V_{DSUB}$	Живлення підкладки
13	$V_{SS}$	Живлення вихідного кола
14	GND	Земля
15	GND	Земля
16	RD	Імпульс скидання стоку
17	$\phi RG$	Імпульс скидання затвору
18	NC	
19	$H_{\phi 1}$	Синхроімпульс передачі (горизонтальний)
20	$H_{\phi 2}$	Синхроімпульс передачі (горизонтальний)

Дана матриця має наступні параметри:

- чутливість – 500 мВ/лк ;
- відношення сигнал/шум - 50 дБ;
- діагональ матриці 8 мм(1/2 дюйма);
- невисокий рівень змазування зображення;
- досить висока роздільна здатність та невеликий темновий струм;
- кількість ефективних пікселів 752х582;
- розмір пікселя 8,6х8,3 мкм.

Варто мати на увазі, що дана камера працює на основі внутрішнього фотоефекту. Тому для неї характерне досить невисоке відношення сигналу до шуму. Це пов'язано з досить невеликим значенням максимального пакету заряду в комірці ПЗЗ. Через це потрібно управляти чутливістю камери для забезпечення великого динамічного діапазону. В протилежному випадку камера працювала би в дуже обмеженому діапазоні освітлення. При освітленні меншому за границю цього діапазону відношення сигналу до шуму стало б занадто малим для якісної роботи системи. Уже при відношенні сигналу до шуму менше 10 , різко погіршується якість зображення.

З іншого боку, при перевищенні освітленості верхнього рівня характеристики світло-сигнал порушиться її лінійність. Сигнал може досягнути рівня білого кольору і надалі підвищуватися не буде. Або, можливий варіант, коли буде отримано спотворений сигнал через розпливання зображення в тих зонах, де сигнал перевищує максимально можливий рівень. Таке явище називається *блюмінгом*.

На рис.3.3 наведено схему електричну принципову камери, розробленої на основі матриці ICX039 та додаткових мікросхем. Всі вони випущені компанією SONY. Варто зауважити що дана камера на виході виділяє підсилений аналоговий сигнал. Це означає що для перетворення вихідного відеосигналу в цифрову форму потрібно додатково встановлювати АЦП.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

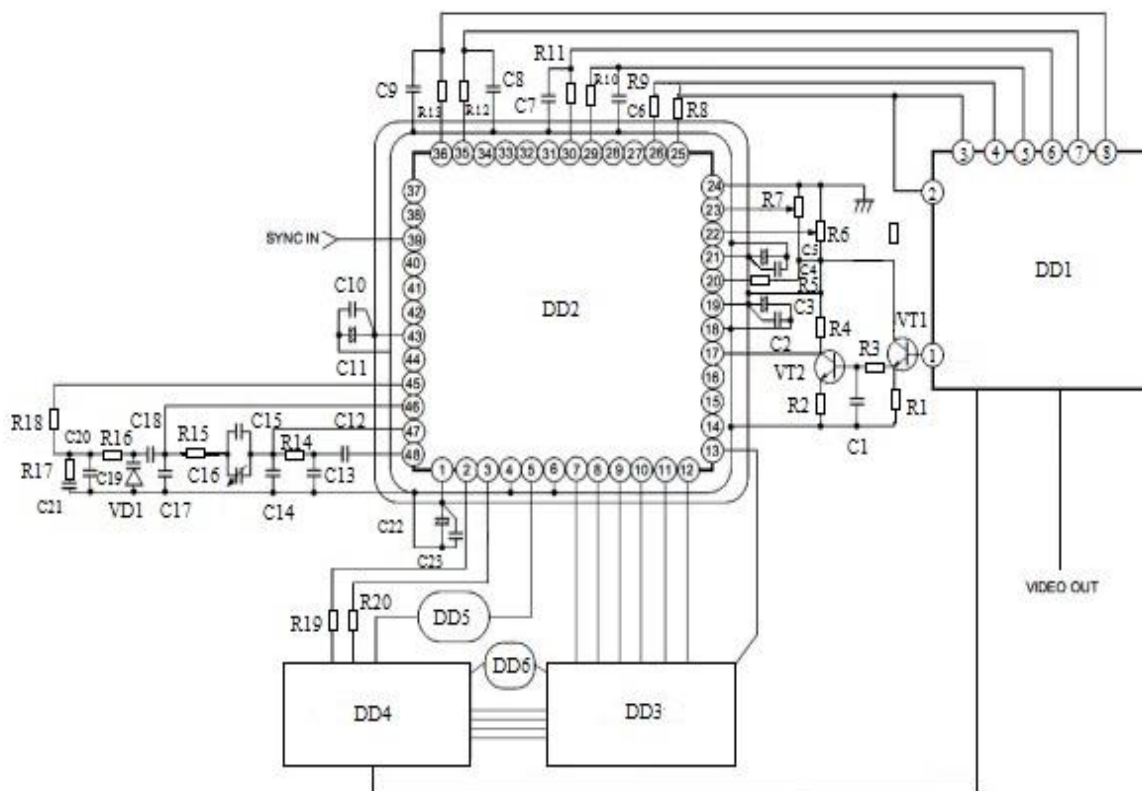


Рис.3.3. Схема електрична принципова камери на матриці ICX039

Номінали елементів та розшифрування позначень наведені в специфікації (додаток А).

Особливістю даної схеми є її висока структурованість і простота. До її складу входять 6 сучасних мікросхем:

- DD1 - відеопідсилювач CXA1310;
- DD2 – синхрогенератор CXD2400R;
- DD3 – перетворювач рівнів CXD1250;
- DD4 – ПЗЗ-матриця ICX039;
- DD5 – пристрій управління транзистором скидання;
- DD6 – схема для коректного живлення матриці та перетворювача рівнів.

В схемі присутні також 20 резисторів, 23 конденсатори, 1 діод та 2 біполярні транзистори. Всі елементи легкодоступні та відносно недорогі, що зумовлює низьку ціну системи в цілому.



### 3.2. Розробка друкованої плати камери на ПЗЗ-матриці

Відповідно до схеми електричної принципової було розроблено схему друкованої плати(рис.3.4)

Дана плата має довжину 56 мм та ширину 43 мм. Дані розміри можуть бути зменшені за рахунок зменшення розміру доріжок до максимально допустимих, а також зменшення відстані між ними. Можливо також розглянути варіант зміни конфігурації плати, тобто положення елементів на ній. Варто зауважити що розміри більшості мікросхем , використаних в даній установці коливаються в діапазоні 8-12 мм по ширині та довжині, тож суттєве зменшення геометричних розмірів плати неможливе.

Істотною складністю при виготовленні даного пристрою є те, що синхрогенератор CXD2400R має аж 48 виводів. Це значно збільшує час свердління технологічних отворів та час запаювання компонентів.

Схема розроблена за допомогою програми SprintLayout.

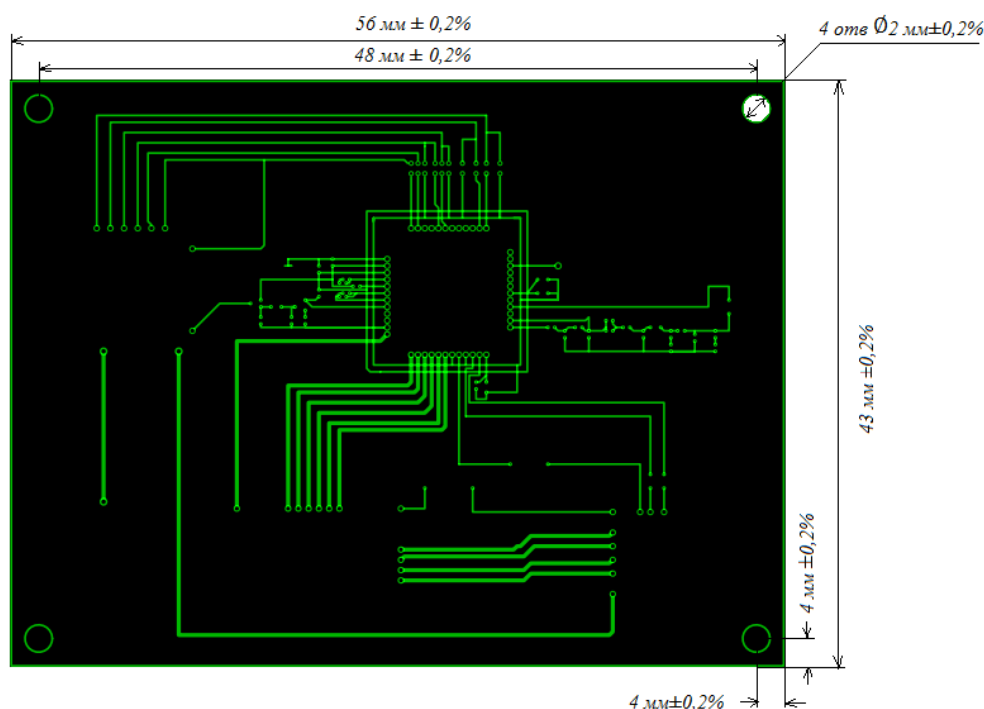


Рис.3.4. Схема друкованої плати

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

### **Висновки:**

1. Розроблено електричну принципову схеми камери на ПЗЗ-матриці ICX039.  
Дана камера містить у собі всі основні компоненти для отримання на виході потужного аналогового сигналу . Камера має високу роздільну здатність та чутливість, необхідні для якісної роботи розробленої системи.
2. Сконструйовано друковану плату у відповідності до електричної принципової схеми. Досягнуто оптимальних розмірів плати - 56ммх43мм. Подальше зменшення геометричних розмірів можливе за рахунок зміни конфігурації розташування елементів.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1. Вибір системи для дослідження алгоритму роботи СТЗ

Одним з найважливіших етапів у розробці даної системи є перевірка на практиці алгоритму роботи обробки вхідного зображення у вигляді цифрового коду. Саме алгоритм в основному і визначає швидкість опрацювання системою вхідної інформації.

Для перевірки алгоритму достатньо мати :

- цифрову камеру, для отримання зображення високої роздільної здатності;
- комп'ютер або інший обчислювальний пристрій для розробки програмного забезпечення та опрацювання інформації;
- канал зв'язку для передачі зображення з камери до комп'ютера.

Різниця в роботі даної системи з реальною несуттєва. Вона полягає лише в різному часі опрацювання інформації через неоднакові обчислювальні потужності процесорів. Тому така система надійно може бути використана для перевірки алгоритму роботи.

Алгоритм роботи як зазначалось в пункті 2.4 полягає в пошуку зображення за зразком. Тож для цього потрібно зображення дефектної плати і частин(шаблонів) робочої плати.

На рис.4.1 (а, б, в, г) міститься зображення робочої плати(а), двох шаблонів та дефектної плати (г). Перший з них не містить дефектів(б), а на другому(в) відсутній один компонент – резистор.

Згідно теоретичних очікувань перший шаблон, який не містить дефектів, повинен знаходитися з високою точністю, близькою майже до 100%. Очевидно, що другий шаблон, який містить дефекти повинен знаходитися з точністю набагато меншою.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)



в)



г)

Рис.4.1. Зображення для перевірки роботи системи: а – робоча плата, б-робочий шаблон, в - шаблон з дефектом, г – дефектна плата.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2. Аналіз результатів експерименту

На рис.4.2(а, б) показано результати експерименту для двох різних шаблонів.



а)



б)

Рис.4.2. Результати експерименту: а - пошук за робочим шаблоном, б - пошук за дефектним шаблоном.

Отримані результати задовільнили теоретичні очікування. Система ідентифікувала та виявила перший шаблон з точністю 90%, що свідчить про похибку в 10 %, а другий з точністю 40%. Час перевірки - час від початку опрацювання процесором зображення до виводу на екран кінцевих результатів - становив близько 5 секунд.

Похибка пов'язана з тим, що в роботі було опрацьовано шаблони, розміри яких становлять  $\frac{1}{4}$  від розмірів плати. Зі зменшенням розмірів шаблонів похибку можна знизити, за рахунок меншої кількості точок шаблону, які не були знайдені на зображенні дефектної плати. Проте збільшення кількості шаблону у свою чергу приведе до збільшення часу роботи системи, яка проводить лінійний пошук.

Тому для оптимальної роботи даної системи відповідно до задач, які ставляться перед нею, потрібно знайти баланс між кількістю використовуваних шаблонів та часом роботи, що не перевищує припустимі норми.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Висновки:

1. В даному розділі було обгрунтовано спосіб перевірки алгоритму роботи СТЗ. Даний алгоритм не вимагає складного обладнання, оскільки він полягає в обробці кінцевого зображення незалежно від методу його отримання.
2. Експериментальні результати підтвердили теоретичні очікування. Шаблон, який не містив дефектів знайшовся з точністю в 90%, а той, який містив дефект – з точністю в 40%. Отримані результати лежать в межах допустимої похибки.
3. Для зменшення похибок потрібно збільшити кількість шаблонів, які перевіряються. Але це призведе до збільшення часу роботи системи. Тому для кожної конкретної задачі важливо знайти баланс між кількістю шаблонів та допустим часом роботи, так щоб ефективність використання даної електронної СТЗ була максимальною.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. В даній роботі розроблено сучасну електронну систему технічного зору для розпізнавання образів, обгрунтовано актуальність її створення. Основною сферою застосування цієї системи обрано її використання для дефектоскопії при виробництві електронних плат.
2. Розроблена система задовольняє всі поставлені вимоги: висока чутливість (становить 500 мВ/лк), висока швидкодія (для перевірки плати розмірів 50x80 мм знадобилось 5с), висока точність (похибка не перевищує 10%).
3. Обгрунтовано вибір апаратного забезпечення для розробленої системи. Описано існуючі відеоприймачі та проведено аналіз їх основних переваг та недоліків. Використано сучасну ПЗЗ-матрицю ICX039 для основи камери, розгорнуто пояснено спосіб поєднання даної матриці з додатковими компонентами для оптимальної роботи системи.
4. Новим у створенні даної СТЗ є підхід до обробки вхідного цифрового зображення. Запропоновано абсолютно новий метод знаходження дефектів, який оснований на лінійному пошуку робочих шаблонів на зображенні неробочої плати. Час роботи системи залежить від кількості шаблонів, розмірів плати та кількості окремих компонентів на ній.
5. Для зменшення отриманих похибок можна збільшити кількість використовуваних шаблонів. Але це призведе до збільшення використовуваного системою часу. Для кожної конкретної задачі потрібно підбирати оптимальну кількість шаблонів. Також зменшити похибку можна за рахунок рівномірного освітлення всієї площі електронної плати.
6. Перспективним є використання розробленого алгоритму в поєднанні з пошуком по ключовим точкам. Для даного пошуку потрібно розробляти нейронну мережу, що сильно ускладнює систему. Проте таким чином можна буде добитися результатів, при яких похибка буде прямувати до нуля. Тому подальше дослідження і розробка запропонованого алгоритму в поєднанні з пошуком по ключовим точкам є актуальним.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дзюба В.Г. Курс лекцій з дисципліни «Системи технічного зору» для студентів спеціальностей 7.091001 та 8.091001 – «радіоелектронні апарати та засоби».- К.:НТУУ «КПІ»,2011 р. -148 с.

2. Дорощенко Г.Д. Системи телебачення та технічного зору : навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2015.-209 с.

3. Грязин Г.Н. Системы прикладного телевидения: Учеб. пособие для вузов.- СПб.: Политехника,2000.-277 с.

4. Колобродов В.Г. Проективання тепловізійних і телевізійних систем спостереження: Підручник – К.: НТУУ «КПІ», 2007. -364 с.

5. Горбачев А.А. Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 98 с.

6. Устройство камеры видеонаблюдения [Електронний ресурс] –Режим доступу: [https://video-praktik.ru/kamery\\_ustrojstvo.html](https://video-praktik.ru/kamery_ustrojstvo.html) // (дата звернення 11.05.2019)

7. Система технічного зору: особливості, завдання, принципи роботи, основні компоненти [Електронний ресурс]- Режим доступу: <http://bigbro.com.ua/sistema-tehnichnogo-zoru-osoblivosti-zavdannya-printsipi-roboti-osnovni-komponenti/> //(дата звернення 13.05.2019)

8. Versatile LEDs Drive Machine Vision in Automated Manufacture [Електронний ресурс]- Режим доступу: <https://www.digikey.sk/en/articles/techzone/2012/jan/versatile-leds-drive-machine-vision-in-automated-manufacture> // (дата звернення 11.05.2019)

9. Электронный компонент ICX039 [Електронний ресурс]-Режим доступу: <http://www.chipfind.ru/datasheet/sony/icx039dla.htm> //(дата звернення: 25.05.2019)

10. Timing Controller for CCD cameras CXD2400 [Електронний ресурс]- Режим доступу: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/C/X/D/2/CXD2400R.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/C/X/D/2/CXD2400R.shtml) //(дата звернення : 01.06.2019)

11. Single Chip Processing for CCD Monochrome Camera [Електронний ресурс] – Режим доступу:

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



[http://www.radioradar.net/datasheet\\_search/C/X/A/CXA1310AQ\\_SonyCorporation.pdf.html](http://www.radioradar.net/datasheet_search/C/X/A/CXA1310AQ_SonyCorporation.pdf.html) // (дата звернення: 01.06.2019)

12. Денбновецький С.В. Електронні системи.- К.:НТУУ «КПІ», 2011.-288 с

13. Травин Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения.- М.:Высш.шк., 2007. – 606 с.:ил.

14. Никамин В.А. Аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Справочник. – СПб.: КОРОНА принт, 2003.- 224 с.,ил.

15. Попов С.Н. Аппаратные средства мультимедиа. Видеосистема РС – СПб.: БХВ-Петербург; Арлит. 2000.- 400 с.:ил.

16. Виноградов В.А. Основы телевизионной техники. Телевизионные приемники. Учебный курс. Под ред. Мончака А.М.- СПб.: КОРОНА-Век, 2006. – 368 с.

17.Шарыгин М.Е. Сканеры и цифровые камеры /Под ред.О.В.Колесниченко, И.В. Шишигина.- СПб.: БХВ-Санкт-Петербург; Арлит,2000.- 384 с.:ил.

18. Петропавловский В.А. Телевизионные передающие камеры .- М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.: ил.

19. Multi-scale Template Matching using Python and OpenCV by Adrian Rosebrock [Електронний ресурс]- Режим доступу: <https://www.pyimagesearch.com/2015/01/26/multi-scale-template-matching-using-python-opencv/> // (дата звернення 04.06.2019)

20. Михайлов С.Р. Системи контролю, реєстрації та відображення інформації. Цифрові телевізійні системи: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 152 с.

					БР.6.050802.051.003 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## **ДОДАТКИ**

## **ДОДАТОК А**

Зона	Поз.	Позначення			Найменування		Кіл.	Прим.	
					<u>Конденсатори</u>				
	1				K73 0.15 мкФ		1	C1	
	2				K73 0.1 мкФ		1	C2	
	3				K50 6.8 мкФ		2	C3,C5	
	4				K73 0.1 мкФ		1	C4	
	5				K73 47 пФ		4	C6-C9	
	6				K73 0.1 мкФ		1	C10	
	7				K50 6.8 мкФ		1	C11	
	8				K73 1000 пФ		1	C12	
	9				K73 33 пФ		1	C13	
	10				K73 7 пФ		1	C14	
	11				K73 270 пФ		1	C15	
	12				K73 10 пФ		1	C16	
	13				K73 7 пФ		1	C17	
	14				K73 0.01 мкФ		3	C18-C20	
	15				K73 1.5 мкФ		1	C21	
	16				K73 0.1 мкФ		1	C22	
	17				K50 6.8 мкФ		1	C23	
					БР.6.050802.051.003 ПЕ				
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					
Розроб.		Божук А.М.			Електронна система технічного зору для розпізнавання образів Специфікація		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Генбновецький С.В.						1	3
							«КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, ЕПП, гр. ДЕ-51		
Н.контр		Надюк В.О.							
Затверд.		Писаренко Л.Д.							
Зона	Поз.	Позначення			Найменування		Кіл.	Прим.	

			<u>Резистори</u>				
	18		C2 3.9 кОм			1	R1
	19		C2 10 кОм			1	R2
	20		C2 270 кОм			1	R3
	21		C2 150 кОм			1	R4
	22		C2 36 кОм			1	R5
	23		C2 50 кОм			2	R6,R7
	24		C2 100 Ом			2	R8,R9
	25		C2 2.2 кОм			2	R10, R11
	26		C2 2.2 кОм			2	R12, R13
	27		C2 470 Ом			2	R14, R15
	28		C2 100 кОм			1	R16
	29		C2 2.2 кОм			1	R17
	30		C2 10 кОм			1	R18
	31		C2 100 кОм			2	R19, R20
			<u>Діоди</u>				
	32		1T33C			1	VD1
			<u>Транзистори</u>				
	33		2SC945			1	VT1
	34		2SC3355			1	VT2
						<i>БР.6.050802.051.003 ПЕ</i>	
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			
<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	<b>Позначення</b>			<b>Найменування</b>		<i>Кіл.</i>
					<u>Мікросхеми</u>		
	35				CXA1310		1 DD1

[illegible]

## **ДОДАТОК Б**

## ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

### Програмний код для електронної системи технічного зору для розпізнавання образів

```
#Завантажуємо необхідні бібліотеки
import cv2
import numpy as np
# Завантажуємо зображення пошкодженої плати
img_rgb = cv2.imread('incor.jpg')
# Перетворюємо його в чорнобілий формат
img_gray = cv2.cvtColor(img_rgb, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Завантажуємо шаблон
template = cv2.imread('Resistor_out.jpg', 0)
# Зберігаємо розміри шаблону
w, h = template.shape[: -1]
# Проводимо порівняння
res = cv2.matchTemplate(img_gray, template, cv2.TM_CCOEFF_NORMED)
# Задаємо точність обчислення (від 0 до 1)
threshold = 0.7
#Зберігаємо координати частин зображення , які еквівалентні із
шаблоном із заданою точністю
loc = np.where(res >= threshold)
# Малюємо прямокутник навколо еквівалентних частин зображення
for pt in zip(*loc[: -1]):
    cv2.rectangle(img_rgb, pt, (pt[0] + w, pt[1] + h), (0, 255, 255), 2)
# Виводимо на екран результати співпадінь
cv2.imshow('Detected',img_rgb)
cv2.waitKey(0)
```

					БР.6.050802.051.003 СА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72